creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:21028-200000105260

工學博士 學位論文

해상교통안전시스템의 Transit Line 평가모델 개발에 관한 연구

A Study on Development of the Evaluation Model for Marine Traffic Safety System Providing the Transit Line

指導敎授 鞠 承 淇

2018年 8月

韓國海洋大學敎 大學院

海 洋 警 察 學 科

李 榮 台

본 논문을 이영태의 공학박사 학위논문으로 인준함.

위원장 이 은 방 (인)

위 원 이 윤 석 (인)

위 원 김 민 철 (인)

위 원 김 정 록 (인)

위 원 국 승 기 (인)

KOREA MARITIME AND OCEAN UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

2018년 8월 20일

한국해양대학교 대학원

Collection @ kmou

목 차

List of Tables ····· iv
List of Figures ····· vii
Abstract ····· xiii

제 1 장 서 론 ····· 1
1.1 연구 배경 및 목적 ····· 1
1.1.1. 연구 배경 ····· 1
1.1.2. 연구 목적 및 방법 ····· 3
1.2 논문의 구성 및 내용 ····· 7

제 2 장 해상교통안전시스템과 Transit Line 현황 분석 ····· 9
2.1 해상교통안전시스템 종류 및 운영현황 분석 ····· 10
2.1.1 시각표지 ····· 14
2.1.2 전파표지 ····· 29
2.1.3 음파표지 ····· 40
2.1.4 특수신호표지 ····· 42
2.2 Transit Line 해상교통안전시스템 현황 분석 ····· 48
2.2.1 Transit Line 해상교통안전시스템의 역사 ····· 48
2.2.2 Transit Line 해상교통안전시스템 국내외 현황 ····· 53

Collection @ kmou

2.3 해상교통안전시스템 미래 ·····90
2.3.1 해양 4차 산업혁명 ·····90
2.3.2 e-Navigation ·····92
2.3.3 자율운항선박(Autonomous Ship) ·····97
2.3.4 해상교통안전시스템 미래 ·····103

제 3 장 해상교통안전시스템의 Transit Line 설계 ·····113
3.1 Transit Line ·····113
3.2 해상교통안전시스템의 Transit Line ·····114
3.2.1 시스템의 목적 및 기능 ·····114
3.2.2 시스템 기술 및 성능 기준 ·····115
3.2.3 Transit Line의 등화 ·····116
3.2.4 Transit Line 설계 요소 ·····118
3.3 시스템 설계 국제기준 ·····123
3.3.1 Transit Line 설계 ·····123
3.3.2 항로의 길이 ·····126
3.3.3 수직이탈거리(Off-Axis Distance) ·····127
3.3.4 측면민감도(Lateral Sensitivity) ·····127
3.4 시스템 설치 ·····130
3.4.1 시스템 설치요건 ·····130
3.4.2 시스템 운영 ·····130

제 4 장 해상교통안전시스템의 Transit Line 평가모델 ·····139
4.1 TRansit-line Assessment Model (TRAM)의 개발 ·····139
4.1.1 방위차에 의한 이탈거리(Bearing Difference Distance) ····140

Collection @ kmou

4.1.2 앙각(Elevation Angle) ·····142
4.1.3 축이탈거리(Off-Axis Distance) ·····143
4.1.4 교통용량 분석 ·····144
4.1.5 Collision Risk Analysis ·····146
4.2 TRAM의 검증 ·····148
4.2.1 부산항 도등시스템 ·····148
4.2.2 TRAM에 의한 검증 ·····152
4.2.3 TRAM 검증결과 ·····165
4.3 TRAM의 적용 ·····166
4.3.1 부산항 보조도등시스템 ·····166
4.3.2 TRAM의 적용 ·····172
4.3.3 TRAM의 활용 결과 ·····179
4.4 항로표지(AtoN) 시뮬레이션 검증 ·····181
4.4.1 항로표지(AtoN) 시뮬레이터 구성 ·····181
4.4.2 시뮬레이션 검증 결과 ·····185

제 5 장 결론 ·····190

참고문헌 ·····192

감사의 글 ·····195

Collection @ kmou

List of Tables

Table 1 Current State of AtoN (National) ····· 12
Table 2 Annual Increasing in AtoN ····· 13
Table 3 Current State of Lighthouses ····· 15
Table 4 Current State of Leading Lines ····· 19
Table 5 Current State of East Sea Zone ····· 53
Table 6 General Status of Gamcheon Port Leading Lights ····· 54
Table 7 Design Data of Gamcheon Leading Lights ····· 55
Table 8 General Status of Busan New Port(Inner) ····· 58
Table 9 Design Data of Busan New Port(Inner) Leading Lights ····· 59
Table 10 General Status of Busan New Port Songdo Leading Lights ····· 61
Table 11 Design Data of Busan New Port Songdo Leading Lights ····· 62
Table 12 General Status of Busan New Port Leading Lights ····· 64
Table 13 Design Data of Busan New Port Leading Lights ····· 65
Table 14 General Status of Busan Port(North) Leading Lights ····· 67
Table 15 Design Data of Busan Port(North) Leading Lights ····· 68
Table 16 General Status of Pohang New Port Leading Lights ····· 70
Table 17 Design Data of Pohang New Port Leading Lights ····· 71
Table 18 General Status of Jeojin Leading Lights ····· 73
Table 19 Design Data of Jeojin Leading Lights ····· 74
Table 20 General Status of Jeodo Leading Lights ····· 76
Table 21 Design Data of Jeodo Leading Lights ····· 77
Table 22 General Status of Yeonpyeongdo Port Leading Lights ····· 79
Table 23 Design Data of Yeonpyeongdo Leading Lights ····· 80
Table 24 The Sixteen Maritime Service Portfolio ····· 93

Collection @ kmou

Table 25 Autonomous Level adopted by Lloyds Register ····· 98
Table 26 Fourth Industrial Revolution and changing of Shipbuilding and Shipping Industries ····· 99
Table 27 Cross-Track Factor ····· 128
Table 28 General Status of Busan Port Transit Lights ····· 131
Table 29 General Status of Gamcheon Port Transit Lights ····· 132
Table 30 General Status of Busan New Port Transit Lights(Inner) ····· 133
Table 31 General Status of Busan New Port Transit Lights ····· 134
Table 32 General Status of Busan New Port Songdo Transit Lights ····· 135
Table 33 General Status of Pohang New Port Transit Lights ····· 136
Table 34 General Status of Jeojin and Jeodo Transit Lights ····· 137
Table 35 General Status of Yeonpyeongdo Transit Lights ····· 138
Table 36 Bearing Difference Value ····· 142
Table 37 Cross-Track Factor Value ····· 144
Table 38 General Status of Busan Port Transit Lights ····· 149
Table 39 Initial Point of Busan Transit Light ····· 154
Table 40 Bearing and Distance between Initial Points ····· 155
Table 41 Data for Calculation of Elevation angle ····· 155
Table 42 Data for Calculation of Off-Axis Distance ····· 156
Table 43 Off Axis Distance and Cross Track Factor (Height of eye : 5m) ····· 157
Table 44 Off Axis Distance and Cross Track Factor (Height of eye : 15m) ····· 158
Table 45 Off Axis Distance and Cross Track Factor (Height of eye : 30m) ····· 159
Table 46 Statistic of Inbound & Outbound Vessel (Ship's Type) ····· 159

Collection @ kmou

Table 47 Statistic of Inbound & Outbound Vessel (Ship's Gross Tonnage) ····· 160
Table 48 Maritime Traffic Congestion Assessment ····· 160
Table 49 TRAM Evaluation of Busan Port Transit Line ····· 165
Table 50 Secondary Transit Light Layout ····· 170
Table 51 Height & Location of Secondary Transit Light ····· 171
Table 52 Initial Position of Transit Lights ····· 172
Table 53 Bearing & Distance between Initial Points ····· 173
Table 54 Initial Point of Secondary Transit Light ····· 174
Table 55 Bearing & Distances from Secondary Initial Point ····· 175
Table 56 Data for Calculation of Elevation angle ····· 175
Table 57 Data for Calculation of Off-Axis Distance ····· 176
Table 58 Off Axis Distance and Cross Track Factor (Height of eye : 5m) ····· 177
Table 59 Off Axis Distance and Cross Track Factor (Height of eye : 15m) ····· 178
Table 60 Off Axis Distance and Cross Track Factor (Height of eye : 30m) ····· 179
Table 61 Result of Assessment for Secondary Transit Line of Busan Port ····· 180
Table 62 Specification of Model Vessel ····· 184
Table 63 Final Transit Line Configuration ····· 186

Collection @ kmou

List of Figures

Fig. 1 Concept of Transit Line ····· 3
Fig. 2 Flow Chart of Research ····· 6
Fig. 3 Flow Chart of Utilize TRAM ····· 7
Fig. 4 Organization of AtoN Authority ····· 11
Fig. 5 Annual Increasing in AtoN ····· 13
Fig. 6 Marine Culture Space, Remote control system in Manned Lighthouses ····· 16
Fig. 7 Unmanned Lighthouse in Busan New Port Breakwater ····· 17
Fig. 8 Automatic Weather System and Beacon ····· 18
Fig. 9 Leading Lights of Busan Port(North) and Busan New Port ····· 20
Fig. 10 Illuminating Light, Sector Light, Fixed Marking of Bridge ····· 22
Fig. 11 IALA/AISM MARITIME BUOYAGE SYSTEM BUOYAGE REGIONS A AND B ····· 24
Fig. 12 Preferred channel to Starboard(left) and Port(right) ····· 24
Fig. 13 Cardinal Marks ····· 25
Fig. 14 Unlighted Beacon, Unlighted Buoy, Unlighted Fixed Marking of Bridge ····· 28
Fig. 15 GPS Satellite ····· 30
Fig. 16 In-Orbit Validation and SAR Service of Galileo ····· 30
Fig. 17 The Plan of GLONASS Satellite ····· 31
Fig. 18 Current State of DGPS in Korea(National Maritime PNT Office, 2017) ····· 33
Fig. 19 Current State of GNSS and SBAS ····· 34
Fig. 20 WASS G-III Receiver ····· 35

Collection @ kmou

Fig. 21 Road Map of KASS Program ····· 37
Fig. 22 Technical Development Plan of eLoran in Korea ····· 38
Fig. 23 GNSS during of the Spoofing(Polish Air Force Academy) ····· 38
Fig. 24 Intended or unintended interference into GNSS ····· 39
Fig. 25 Image of Racon Signal on Radar Display ····· 40
Fig. 26 Air Siren, Electric Horn and Generator ····· 41
Fig. 27 Current State of Tide & Currents System in Incheon ····· 43
Fig. 28 Tide & Currents System Operation Center in Incheon ····· 43
Fig. 29 Tide & Currents System Diagram in Inchoen ····· 43
Fig. 30 Electronic Display in Incheon ····· 43
Fig. 31 Current State of Tide & Currents System in Jindo ····· 44
Fig. 32 Electronic Display in Jindo ····· 44
Fig. 33 Tide & Currents System Diagram in Jindo ····· 45
Fig. 34 Real Time Service of Marine Weather Signal ····· 46
Fig. 35 A one minute SOTDMA time frame of AIS messages from the two AIS channels ····· 47
Fig. 36 Leading Lights of Busan Port(North) ····· 48
Fig. 37 The Twelve Standard Dayboards Used on USCG Ranges ····· 49
Fig. 38 L Angle Steel Tower ····· 50
Fig. 39 Steel Pole ····· 51
Fig. 40 Reinforced Concrete Construction ····· 52
Fig. 41 View of Gamcheon Harbour Leading Lights ····· 55
Fig. 42 Location of Gamcheon Harbour Leading Lights ····· 55
Fig. 43 Result of Simulation(Gamcheon Harbour Leading Lights) ····· 56
Fig. 44 View of Busan New Port ····· 57
Fig. 45 View of Busan New Port(Inner) Front Lights ····· 58
Fig. 46 Location of Busan New Port(Inner) Leading Lights ····· 58

Collection @ kmou

Fig. 47 Result of Simulation(Busan New Port(Inner) Leading Lights) ····· 60
Fig. 48 View of Busan New Port Songdo Leading Lights ····· 61
Fig. 49 Location of Busan New Port Songdo Leading Lights ····· 61
Fig. 50 Result of Simulation(Busan New Port Songdo Leading Lights) ··· 63
Fig. 51 View of Busan New Port Leading Lights ····· 64
Fig. 52 Location of Busan New Port Leading Lights ····· 64
Fig. 53 Result of Simulation(Busan New Port Leading Lights) ····· 66
Fig. 54 Location of Busan Port(North) Leading Lights ····· 67
Fig. 55 Result of Simulation(Busan Port(North) Leading Lights) ····· 69
Fig. 56 View of Pohang New Port Leading Lights ····· 70
Fig. 57 Result of Simulation(Pohang New Port Leading Lights) ····· 72
Fig. 58 Location of Jeojin and Jeodo Leading Lights ····· 73
Fig. 59 Result of Simulation(Jeojin Leading Lights) ····· 75
Fig. 60 View of Jeodo Leading Lights ····· 76
Fig. 61 Result of Simulation(Jeodo Leading Lights) ····· 78
Fig. 62 View of Yeonpyeongdo Port Leading Lights ····· 79
Fig. 63 Result of Simulation(Yeonpyeongdo Port Leading Lights) ····· 81
Fig. 64 Leasowe Lighthouse(Front), 1763 ~ 1908 ····· 82
Fig. 65 Fleetwood Lower Light(Front) ····· 83
Fig. 66 Fleetwood High Light(Rear) ····· 83
Fig. 67 Elm Tree Lighthouse ····· 84
Fig. 68 Waackaack Leading Light(Rear) ····· 84
Fig. 69 Conover Leading Light(Front) 1856~1988 ····· 85
Fig. 70 Chapel hill Leading Light(Rear) 1856 ~ 1957 ····· 85
Fig. 71 West Bank Leading Light(Front) 1901~Current ····· 86
Fig. 72 Staten Island Leading Light(Rear) 1912 ~ Current ····· 86

Collection @ kmou

Fig. 73 Delaware Breakwater East End Leading Light(Front) ····· 86
Fig. 74 Melborune Leading Light(Front) ····· 87
Fig. 75 Melborune Leading Light(Rear) ····· 87
Fig. 76 Vaucluse Bay Leading Light(Front) ····· 88
Fig. 77 Vaucluse Bay Leading Light(Rear) ····· 88
Fig. 78 Mielstack Leading Light(Front) and Somfletherwisch Leading Light(Rear) ····· 89
Fig. 79 Margaree Port Leading Light ····· 89
Fig. 80 Industrial 4.0 Revolution ····· 91
Fig. 81 The IALA's Plan of e-Navigation ····· 94
Fig. 82 Korea e-Navigation Key Infrastructure ····· 97
Fig. 83 Goal of Smart Autonomous Ship and Shipping Industry Operating Service Development ····· 102
Fig. 84 Maritime Network configuration by Using AtoN (Manned/Unmanned LH and Buoy) ····· 104
Fig. 85 Harbor Approach Support Platform ····· 105
Fig. 86 VDES Functions and Frequency use - full system ····· 106
Fig. 87 VDES Testbed of Tenjin Port, China ····· 107
Fig. 88 Support System for Autonomous Ship ····· 109
Fig. 89 Concept of Autonomous Ship ····· 110
Fig. 90 Maritime Support Platform ····· 111
Fig. 91 Maritime Network configuration by Using AtoN Infrastructure 112
Fig. 92 Plan view of a Transit Line ····· 123
Fig. 93 Side view of Transit line structure(towers) ····· 124
Fig. 94 Front view of Transit Line structures ····· 126
Fig. 95 Off-axis distance of a Transit Line ····· 127

Collection @ kmou

Fig. 96 Transit Light of Busan port ····· 131
Fig. 97 Transit Light of Gamcheon port ····· 132
Fig. 98 Transit Light of Busan newport(Inner) ····· 133
Fig. 99 Transit Light of Busan newport ····· 134
Fig. 100 Transit Light of Busan New Port Songdo ····· 135
Fig. 101 Transit Light of Pohang newport ····· 136
Fig. 102 Transit Light of Jeojin & Jeodo ····· 137
Fig. 103 Transit Light of Yeonpeongdo ····· 138
Fig. 104 Three Key Element of IALA Design ····· 139
Fig. 105 Concept of Bearing Difference ····· 141
Fig. 106 At the point of near end, the elevation angle for front light and rear light ····· 143
Fig. 107 Off-Axis distance of a Transit line ····· 144
Fig. 108 Gas molecular collision calculation image ····· 146
Fig. 109 The Geometrical collision diameter ····· 147
Fig. 110 Channel Layout of Busan Port Transit Line ····· 150
Fig. 111 Light and Daymark ····· 151
Fig. 112 Height of Light and Daymark ····· 152
Fig. 113 Initial Channel Layout ····· 152
Fig. 114 Initial Channel Layout on ENC ····· 153
Fig. 115 Data for Calculation of Elevation angle ····· 156
Fig. 116 Side view of Transit Line ····· 157
Fig. 117 The analysed area with ships track on 24th July ····· 161
Fig. 118 The average risk level for 1 week ····· 162
Fig. 119 Enlarged map around cell(7,7) ····· 162
Fig. 120 Collision Map from 2000 to 2012 ····· 162
Fig. 121 Risk rate change by time at high-risk cell ····· 163

Collection @ kmou

Fig. 122 Risk rate change over time in the cell ····· 164
Fig. 123 Risk rate change over time in the cell ····· 164
Fig. 124 Result of TRAM Evaluation ····· 166
Fig. 125 Location of new construction ····· 167
Fig. 126 Drawing of new construction ····· 167
Fig. 127 Bird's eye view ····· 167
Fig. 128 Height of new construction ····· 167
Fig. 129 Elevation angle of Busan port Transit Light ····· 167
Fig. 130 Elevation angle between new construction and Front light ····· 168
Fig. 131 Shadow Zone by new construction ····· 168
Fig. 132 Secondary Transit Light Layout ····· 169
Fig. 133 Calculated Max. Height of secondary Transit light ····· 170
Fig. 134 Calculated Min. Height of secondary Transit light ····· 171
Fig. 135 Data for Calculation of Elevation angle for Secondary Transit Lights ····· 176
Fig. 136 Side view of Secondary Transit Line ····· 177
Fig. 137 Two Transit Line systems & Available useful segments ····· 181
Fig. 138 AtoN Simulator ····· 182
Fig. 139 AtoN Simulator control tap ····· 182
Fig. 140 Model Vessel ····· 184
Fig. 141 Two Transit Line systems ····· 185
Fig. 142 Transit Line of Two Transit Line Systems ····· 186
Fig. 143 Verify by Simulation(Day) ····· 187
Fig. 144 Verify by Simulation(Night, Navigating on Centerline) ····· 188
Fig. 145 Verify by Simulation(Night, Navigating on Starboard side) ····· 188
Fig. 146 Verify by Simulation(Night, Navigating on Port side) ····· 189

Collection @ kmou

해상교통안전시스템의 Transit Line 평가모델 개발에 관한 연구

이 영 태

한국해양대학교 대학원 해양경찰학과

Abstract

선박의 항해는 해양하는 수역에 따라서 대양항해 단계, 연안항해 단계, 항만접근항해 단계 및 제한수역항해 단계로 나누어지며, 특히 Transit Line 표지는 항만접근항해 단계인 항만수역 입구에서부터 선박이 부두에 안전하게 접안하기까지 항해자 또는 도선사가 느끼는 위험부담을 다소나마 줄여주기 위하여 선박에서 항만의 소재와 안전한 항로를 확인할 수 있도록 유효한 표지를 설치함으로써 항만에 접근할 때에 선박의 위치를 확실하게 결정할 수 있도록 도움을 주어 안전을 담보하도록 설치되는 해양교통안전시스템 중에서 항만인지표지라고 할 수 있다.

본 연구 논문은 Transit Line을 제공하는 해양교통안전시스템의 사전 및 사후 평가 모델인 TRAM(TRansit-line Assessment Model)을 개발할 목적으로 모델의 수립과정, 수립된 모델의 검증 및 모델에 대한 적용 등을 통하여 정량적 기법으로 사전 및 사후 평가할 수 있는 과학적인 과정을 제시하였다.

Collection @ kmou

그리고 Transit Line 해상교통안전시스템의 설치 목적과 기능, 기술 성능 및 등화에 대하여 기술하고, 평가모델의 구축을 위하여 설계 기준 및 설치 요건을 조사 분석 하였다. 이를 바탕으로 현재 운영 중인 부산항 도등 시스템의 설계요소 및 설치 여건을 분석하여 각종 파라메터를 도출하여 평가모델의 수립 및 검증에 이용하였다.

또한, 해양교통안전시스템 Transit Line의 사전 및 사후평가를 행하기 위하여 Bearing Difference Distance, Elevation Angle 및 Off-Axis Distance 등 평가항목을 도출하고 각 평가요소에 대한 평가기준을 설정하였으며, 부산항에 설치된 시스템에 대하여 시뮬레이션 기법으로 검증하여 모델의 효용성을 입증하였다. 아울러 효용성이 입증된 평가모델을 부산항 시스템의 주변 고층건물의 건설에 의한 맹목구간의 해소를 위한 새로운 소규모 시스템의 제안에 적용하여 설계와 설치에 도움이 되는 과학적인 제안을 행하였다.

본 연구 논문은 선박 통항안전을 확보하기 위해 설치되는 Transit Line의 효용성 검토 방법 및 평가 기준에 대하여 제시하였으며, 향후 설치될 시스템이나 기존 시스템 평가시 활용할 수 있는 좋은 지침이 될 수 있다고 판단된다.

KEY WORDS: 중시선 Transit Line; 중시도선 평가모델 TRAM(TRansit-line Assessment Model); 방위차에 의한 거리 Bearing Difference Distance; 수직앙각 Elevation Angle; 축이탈거리 Off-Axis Distance

Collection @ kmou

A Study on Development of the Evaluation Model for Marine Traffic Safety System Providing the Transit Line

Lee, Young Tae

Department of Coast Guard Studies
Graduate School of Korea Maritime & Ocean University

Abstract

This paper is to develop a prior and post assessment model for marine traffic safety systems that provide Transit Lines. A scientific approach for assessments had been executed through the process of establishment, verification, and application of the model developed.

It was also described the purpose, technical performance and light of marine traffic safety system providing the transit line, and analyzed international design standards and installation requirements for it.

And, the various parameters were derived for establishing and verifying the evaluation model by analyzing the design elements and the installation conditions of the system providing the transit line

Collection @ kmou

on the channel in Busan harbour after the construction of Busan Port Great Bridge.

The assessment items, such as Bearing Differential Distance, Elevation Angle and Off-Axis Distance, were derived to conduct the evaluation of the system. The effectiveness of the model were verified with simulation techniques for the system installed in Busan Port. In addition, the proven evaluation model was applied to a new small system which was proposed for giving coverage in the blind sector by a skyscraper to be built on a transit line.

The results and scientific proposals in this paper would be useful to setup the maritime safety infrastructure using transit line.

KEY WORDS: Transit Line 중시선; TRAM(TRansit-line Assessment Model) 중시도선 평가모델; Bearing Difference Distance 방위차에 의한 거리; Elevation Angle 수직앙각; Off-Axis Distance 축이탈거리

Collection @ kmou

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

1.1.1. 연구 배경

해양은 지구표면의 약 70%를 차지하고 있으며, 많은 생물자원, 광물자원, 에너지 자원 등 인류의 생존에 필요한 풍부한 자원을 제공해 왔다. 또한 특히 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라에서는 해양산업이 발달해 왔으며, 오늘날 중요시 대두대고 있는 국제교역의 관점에서 볼 때 전통적인 육상물류보다 해양을 통한 해상물류는 우리나라 전체물류의 99%를 차지하고 있어 대부분이 선박을 통하여 이루어지고 있다.

이와 같이 날로 증가하고 있는 해상물류의 증가와 함께 크게 대두되고 있는 것이 선박의 다양화, 고속화 및 대형화 추세이며, 해상물류의 운송에 있어서 출항지에서 목적지까지 이르는 동안 일련의 운항과정에서 나타나는 예기치 않는 위험상황과 조우하는 것을 미연에 방지하기 위해 연안국에서는 IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)의 권고에 따른 광파표지, 형상표지, 음파표지, 전파표지, 특수신호표지 등을 설치하여 항해사에게 필요한 정보를 제공함으로써 안전운항을 지원하고 해양환경을 보호하려는 목적으로 하는 시스템이 전통적으로 항로표지라고 불리는 해상교통안전시스템이다.

이러한 해상교통안전시스템은 항로표지법 제2조에서 “등광(燈光)·형상(形象)·색채·음향·전파 등을 수단으로 항(港)·만(灣)·해협(海峽), 그 밖의 대한민국의 내수·영해 및 배타적 경제수역을 항행하는 선박에게 지표가 되는 등대

Collection @ kmou

· 등표(燈標) · 입표(立標) · 부표(浮標) · 안개신호(霧信號) · 전파표지 · 특수신호표지 등을 말한다" 라고 정의하고 있으며(해양수산부, 2018), 종류는 동법시행규칙 제3조에서는 광파표지, 형상표지, 음파표지, 전파표지 및 특수신호표지로 구별하고 있다.(해양수산부, 2018) 또한 IALA Navguide에서는 시각표지, 전파표지, 자동식별장치(Automatic Identification System) 및 VTS(Vessel Traffic Services)로 그 종류를 분류하고 있으며(IALA, 2014), 사용목적에 따라서 항양표지, 육지초인표지, 연안표지, 항만인지표지, 유도표지 및 장해표지로 구별된다. (국승기 등, 2013)

선박의 항해는 해양하는 수역에 따라서 대양항해 단계, 연안항해 단계, 항만접근항해 단계 및 제한수역항해 단계로 나누어진다. (국승기 등, 2013) 특히 항만접근항해 단계인 항만수역 입구에서부터 선박이 부두에 안전하게 접안하기까지 항해자 또는 도선사가 느끼는 위험부담을 다소나마 줄여주기 위하여 선박에서 항만의 소재를 확인할 수 있도록 적절한 표지를 설치함으로써 항만에 접근할 때에 선박의 위치를 확실하게 결정할 수 있도록 도움을 주어 안전을 담보하도록 설치되는 해양교통안전시스템 중에서 항만인지표지라고 할 수 있다.

그리고 해협, 수도, 소해수로, 관제항로, 항만 등 협소한 내항 또는 항로상에 가로질러 설치되어 있는 해상교량 등 항해상의 장해물로 인해 항해하는 선박이 어려움을 겪는 곳에서 선박을 안전하게 목적지까지 유도하기 위해 설치한 해상교통안전시스템을 유도표지라고 한다.

이러한 유도표지의 종류에는 도등(Leading Light), 도표, 등부표, 방파제등대 등이 있는데, 전파표지 보다는 주로 시각표지(Visual Aids to Navigation)가 보다 유용하게 활용되고 있다고 인식하고 있다.

따라서 본 연구에서는 통항이 곤란한 좁은 수로, 만 입구, 항구 등에서 선박을 안전한 항로로 유도하기 위하여 도등과 같이 중시선(Transit Line)을 제공하는 해양교통시설시스템의 설계에서 설치 운영하는 데 있어서 유용하고 정량적인 평가를 행할 수 있는 모델인 TRAM(TRansit line Assessment Model) 개발하여, 모델의 검증과 적용을 통하여 실제의 도등의 설계와 운영에 적용할 수 있

Collection @ kmou

는 해양교통안전시스템 평가기법을 제안하였다.

1.1.2. 연구 목적 및 방법

Transit Line이란 두 개의 목표가 일직선 위에 겹쳐서 보일 때 관측자는 해도 위에서 이들 목표를 연결한 직선위에 있다. 이들 목표가 겹쳐서 보이는 것을 중시(Transit 또는 Range)되었다고 하며, 중시된 목표들을 연결한 직선을 중시선(Transit Line 또는 Range Line)이라고 부른다. <Fig. 1>은 Transit Line의 개념도로서, 선분 AF는 물표A와 물표B로 구성된 중시선을, 선분 CF는 물표C와 물표D로 구성된 중시선을 나타낸다.(윤여정 외, 2013)

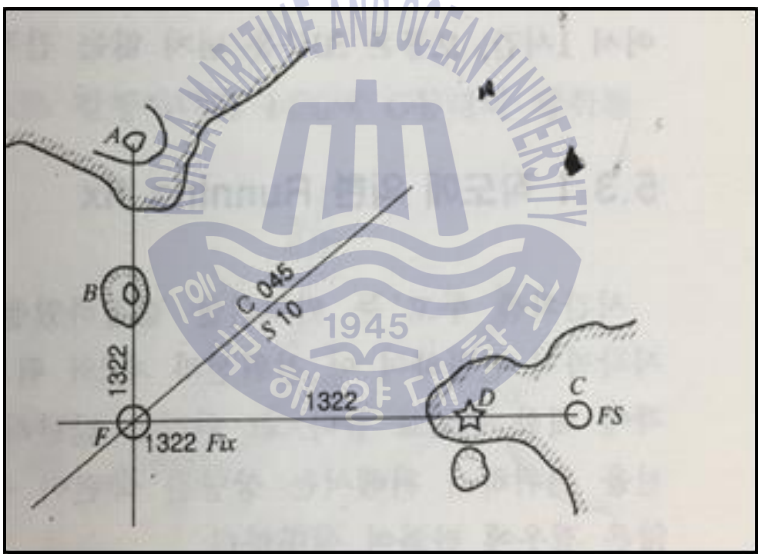


Fig. 1 Concept of Transit Line

중시선은 항해 중에 항상 얻을 수 있는 것은 아니지만, 중시선을 관측할 수 있다면 어떤 항해장비도 사용하지 않고 정확한 위치선(Line of Position)을 구할 수 있다. 그래서 중시선은 정확한 선위를 확인하거나 협수도 등을 통과할 때 피험선, 변침점의 설정, 컴퍼스 오차의 측정 등에 유용하게 이용되는 것으로서 항해자에게 즉시성 및 정확성을 주는 위치확인 수단이다.

Collection @ kmou

이러한 Transit Line을 제공하는 해양교통시설시스템인 도등의 요건은 분명하지 않는 가항수로를 표시하거나 수로의 가장 깊은 곳의 수심을 표시하며 고정 또는 부유 항로표지가 항해에 이용할 수 없거나 만족하지 않은 가항수역의 표시, 항만 또는 강어귀 특히 역류지역을 안전하게 접근하기 어려운 곳과 양방향 통항로의 분기점을 표시할 수 있는 항해요건에 부합되어야 한다.

아울러 양호한 도등설계는 첫째, 항해자가 안전하게 도착지에 이를 수 있도록 축선을 이루어야 하며 위험으로부터 충분히 먼 거리에서 볼 수 있어야 한다.

둘째, 항해자는 이러한 관점에서 축선과 항로 폭 및 방위로부터 편향되는 경향을 빨리 발견 할 수 있어야 한다. 이것은 침로의 안정성과 속력의 결과에 따라 효율적인 조타가 가능하여야 하고 이 안정성은 선저 여유수심이 별로 없는 협수로 및 입출항 수로에서 특히 효과가 있다.

따라서 Transit Line을 제공하는 해양교통안전시스템은 입출항 수로나 협수로 등에 Transit line을 인위적으로 형성하여 선박을 운항하는 항해자나 도선사가 조타명령이나 조타행위 등의 정확한 의사결정을 내리는데 사용되는 시스템이다.

그래서 Transit Line을 제공하는 해양교통안전시스템은 설계된 Transit Line으로부터 편향되는 경향을 바로 알 수 있도록 하여야 하므로 두 중시물표(등) 간 거리 및 중시물표(등)의 높이 수직차 등과 항로의 길이, 항로 폭과의 관계에 의하여 축선으로부터 이탈하여 중시선이 보이는 수평 이탈 폭과 두 물표의 수직적인 분리폭(앙각) 등을 평가하는 것이 매우 중요하다.

현재 우리나라 각 지방청별로 설치된 도등은 총 16개(사설항로표지 제외)가 설치되어 있으며 이중 부산지방해양수산청 10개(부산항전·후도등, 감천항전·후도등, 부산항신항내항전·후도등, 부산항신항전·후도등, 부산항신항송도전·후도등), 인천지방해양수산청 2개(연평도항전·후도등), 포항지방해양수산청 2개(포항신항전·후도등), 동해지방해양수산청 2개의 도등이 각각 설치 운영되고 있다.

이러한 시스템들은 국제규정에 따라 설계되고 설치 운영되고 있지만, 실제로 수평 이탈 폭과 두 물표의 수직적인 분리폭(앙각)에 대한 조사나 평가가 전무

Collection @ kmou

한 실정이다. 해양교통안전시스템으로서의 도등을 설치·운영함에 있어 IALA에 따른 설계기준과 도등의 설치목적에 부합하도록 도등을 설치하여야 할 뿐만 아니라 사후 검증도 필요한 실정이다.

특히 부산항 도등에 있어서는 설치상의 불가피한 여건 때문에 Transit Line이 부산항 입구 오륙도 방파제 부근에서 항로의 중앙과 일치하지 않고 우현 쪽으로 49m 정도 편향되게 설치되었다. 이는 도등시스템의 성격상 발생하는 축선에서의 수평방향 이탈거리로 인한 항로중앙에서의 편향과 더불어 수평편향 거리를 가중하는 결과를 가져올 수 있다. 이와 같이 도등의 설계 및 설치 후에 야기될 수 있는 문제점을 확인하여 보다 확실한 위치 정확성을 항해자에게 제공하기 위하여서는 기존의 설치된 시스템에 대한 사후 평가는 물론이고 향후에 설치될 시스템에 대하여서도 평가할 수 있는 모델의 개발과 적용이 절실히 필요하게 된다.

따라서 본 연구에서는 <Fig. 2>에 나타난 바와 같이 Transit Line을 제공하는 해양교통안전시스템의 평가모델을 수립하고 항로표지 시뮬레이션을 통한 검증, 그리고 새로운 시스템에 대한 적용을 통하여 모델의 수립에서 검증, 적용 단계를 거쳐 수립된 모델의 이론적이고 실제적인 접근으로 정량적인 결과를 도출하여 시스템의 안전성과 신뢰성을 사전 및 사후 평가를 행 할 수 있도록 하였다.

Collection @ kmou

Fig. 2 Flow Chart of Research

특히 도등의 설계 단계에서 부터 본 연구에서 개발된 평가모델을 이용하여 안전성 및 신뢰성을 검증하고, 설치 단계에서 발견될 수 있는 문제점을 도출하여 설계대로 설치될 수 있도록 하며, 설치 후의 시스템의 실제 안전성과 신뢰성을 최종적으로 확인할 수 있는 과학적이고 정량적인 근거를 제시하고 증명하여 실용적으로 활용할 수 있는 평가모델인 TRAM(TRansit-line Assessment Model)을 구축하였다. <Fig. 3>에 본 연구에 개발된 TRAM의 활용성에 대하여 나타내었다.

Collection @ kmou

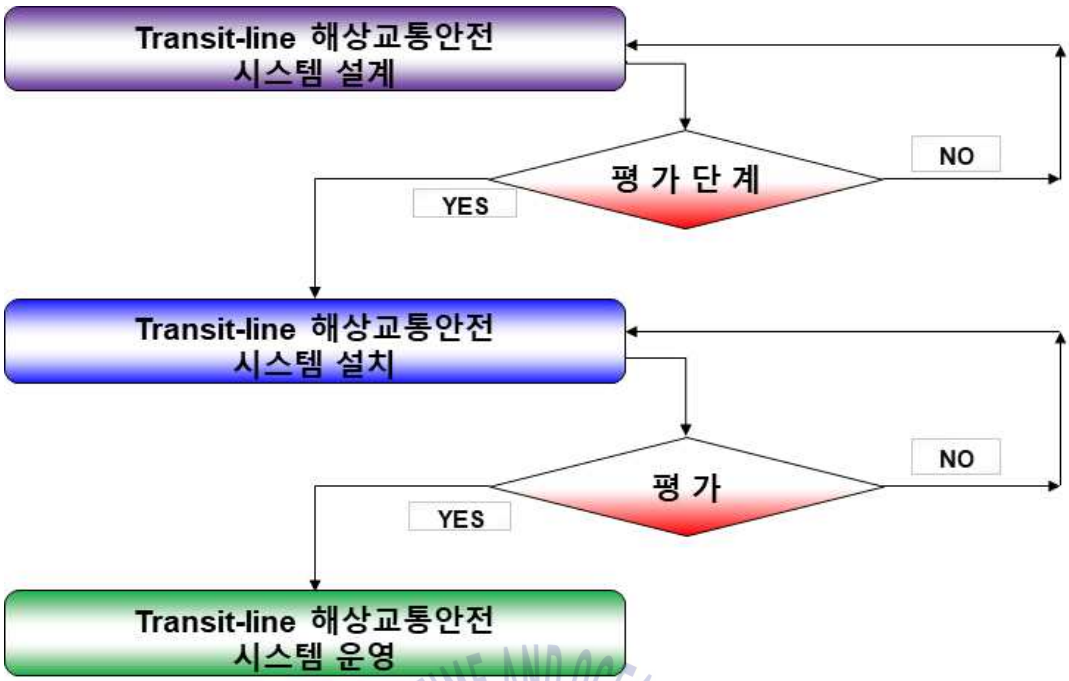


Fig. 3 Flow Chart of Utilize TRAM

1.2 논문의 구성 및 내용

본 연구 논문은 Transit Line을 제공하는 해양교통안전시스템의 사전 및 사후 평가 모델인 TRAM을 개발하기 위하여, 모델의 수립과정, 수립된 모델에 대한 시뮬레이션을 통한 검증과정 및 새로운 시스템에 대한 적용 등을 통하여 정량적 기법으로 사전 및 사후 평가할 수 있는 과학적인 과정을 제시하는 내용으로 구성되었다.

제1장에서는 연구의 배경, 목적과 방법에 대하여 기술하여 본연구의 특징을 기술하였다.

제2장에서는 재래식 항로표지와 국내는 물론이고 국제적으로 활발하게 진행되고 있는 e-Navigation, 해양4차 산업혁명 및 자율운항선박 등을 지원하는 해상플랫폼으로서 항로표지의 확장적인 개념인 해양교통안전시스템에 대하여 기술하였다.

Collection @ kmou

제3장에서는 Transit Line 해상교통안전시스템의 설치 목적과 기능, 기술 성능 및 등화에 대하여 기술하고, 평가모델의 구축을 위하여 국제적인 설계 기준 및 설치요건을 조사 분석 하였다. 또한 부산항 대교의 건설에 따른 부산항 출입항로에서의 Transit Line을 제공하는 시스템의 설계요소 및 설치여건을 분석하여 평가모델의 수립 및 검증을 위한 각종 파라미터를 도출하였다.

제4장에서는 Transit Line 해상교통안전시스템 평가모델인 TRAM(TRansit-line Assessment Model)을 개발한 모든 과정을 기술하였다. 먼저 평가모델을 수립하고 Bearing Difference Distance, Elevation Angle 및 Off-Axis Distance 등 평가항목을 도출하고 각 평가요소에 대한 평가기준을 설정하였다. 그리고 제3장에서 기술된 부산항에 설치된 시스템의 분석 자료를 활용하여 수립된 평가모델을 시뮬레이션 기법으로 검증하여 모델의 효용성을 입증하였다. 마지막으로 효용성이 입증된 평가모델을 부산항 시스템의 주변 고층건물의 건설에 의한 맹목구간의 해소를 위한 새로운 소규모 시스템의 제안에 적용하여 설계와 설치에 도움이 되는 과학적인 제안을 행하였다.

제5장에서는 본 연구에서 도출된 결과들을 정리 제안하여 결론에 이르렀다. 그리고 향후 필요한 연구에 대하여 기술하고 미래의 해상교통환경 변화에 따른 대응방안에 대하여 제안하였다.

Collection @ kmou

제 2 장 해상교통안전시스템과 Transit Line 현황 분석

해상교통안전시스템은 해상교통의 안전을 도모하고 해양환경을 보호하기 위한 것으로써 해상 및 육상에 설치된 항로표지(Marine Aids to Navigation)시설과 위치측정용 인공위성의 상태와 그 궤도에 대한 정보를 반영한 보정정보 등을 포함하여 말한다. 항로표지는 항로표지법(법률 제14839호, 2017.7.26.) 제2조(정의) 제1항에서 "등광(燈光)·형상(形象)·색채·음향·전파 등을 수단으로 항(港)·만(灣)·해협(海峽), 그 밖의 대한민국의 내수 · 영해 및 배타적 경제 수역을 항해하는 선박에게 지표가 되는 등대 · 등표(燈標) · 입표(立標) · 부표(浮標) · 안개신호(霧信號) · 전파표지 · 특수신호표지 등을 말한다." 라고 정의되어 있다. 이와 같이 항로표지는 해상교통안전시설로서 해상교통의 안전을 도모하고 선박운항의 능률성을 향상시키는데 이바지 하고 있다.

항로표지는 자연물 또는 인공구조물이 될 수 있는데 광파 및 형상을 이용하는 시각표지가 있다. 그리고 전파를 이용하는 전파표지, 항해원조 서비스를 제공하는 VTS(Vessel Traffic Service), 음향 및 기타 특별한 정보를 제공하는 기타 항로표지가 있다.

과거 항로표지는 단순히 선위측정에 필요한 정보를 제공하는 해상교통의 안전기능을 하는 항해지원 역할을 해왔지만 최근에는 제4차 산업혁명과 더불어 항해지원은 물론이고 비상상황에서의 지원, 교통정보 서비스, 도선 서비스, 원격 의료 지원 서비스, 해도 갱신 서비스 등을 종합적으로 지원하고 있다. 미래의 자율운항선박 시대에는 운항환경을 구축하는 해상플랫폼으로서 중요한 역할을 할 것이다.

Collection @ kmou

항로표지는 선박 외부에 있는 설비 혹은 시스템으로, 안전하고 효율적인 선박의 항해 및 선박 교통을 향상시킬 수 있도록 설계되고 운영된다. 항로표지를 항해 장비(Navigational aid)와 혼동하여서는 안 된다. 항해 장비는 항해에 필요한 선박에 탑재되어 있는 계기, 장비, 해도 등을 말한다. (IALA, 2014)

이 장에서는 해상교통안전시스템의 종류를 설명하고 우리나라의 항로표지 현황과 기술의 적용에 대해 다루었다. 그리고 제4차 산업혁명에서 자율운항선박 운영을 지원하는 해상 플랫폼으로서 해상교통안전시스템의 역할에 관해 소개하였다.

2.1 해상교통안전시스템 종류 및 운영현황 분석

국제항로표지협회(IALA)에서는 해상교통안전시스템의 종류를 시각표지, 전파표지, VTS, 기타 항로표지로 나누고 있다. 시각표지는 고정 항로표지와 부유식 항로표지로 구분하고 있으며 고정 항로표지에는 등대, 비콘, 분호등, 도등 등이 있고 부유식 항로표지에는 부표, 등선, 랜비 등이 있다. 전파표지에는 GNSS, DGNSS, SBAS, 지상파항법시스템, R-mode, 레이더 반사기, RTE, 레이더비콘, AIS AtoN 등이 있으며 기타 항로표지에는 인공구조물용 표지, 음파표지 등이 있다.

우리나라는 항로표지법 시행규칙(2017.3.15., 개정) 제3조(항로표지의 종류) 제1항에 따라 항로표지의 종류를 광파표지, 형상표지, 음파표지, 전파표지, 특수신호표지가 있으며 형상표지는 입표, 도표, 교량표, 통항신호표 및 부표로 구분하고 있다. 전파표지는 레이더비콘, 로란, 위성항법보정시스템(DGNSS) 및 레이더국이 있으며 특수신호표지는 조류신호표지, 해양기상신호표지 및 자동위치식별신호표지(AIS)가 있다. 특수항로표지는 기능에 따라 공사목적용 표지, 침몰·좌초선박 표지, 교량표지, 계선표지, 해저케이블 표지, 해저송유관 표지, 해양자료수집용 표지, 해양자원탐사용 표지, 해양자원시추용 표지, 해양자원채굴용 표지로 구분하고 있다.

우리나라의 항로표지를 관리하는 조직은 <Fig. 4>에 나타난 것과 같이 해양수산부 해사안전국 산하 항로표지과이다. 해양교통, 등대관리, 선박항해, 선박기

Collection @ kmou

관, 건축, 행정, 기계, 통신, 전기, 운전, 사무 직종이 있으며 정원은 총 434명이다. 항로표지과의 업무는 등광, 형상, 색채, 음향, 전파 등을 수단으로 항, 만, 해협, 그 밖의 대한민국의 내수, 영해 및 배타적 경제수역을 항행하는 선박의 지표로 이용하기 위한 등대, 등표, 입표, 부표, 안개신호, 전파표지, 특수신호표지 등을 설치하고 이를 합리적이고 능률적으로 관리함으로써 해상교통안전을 도모하고 선박운항 능률을 증진키는 것이다.

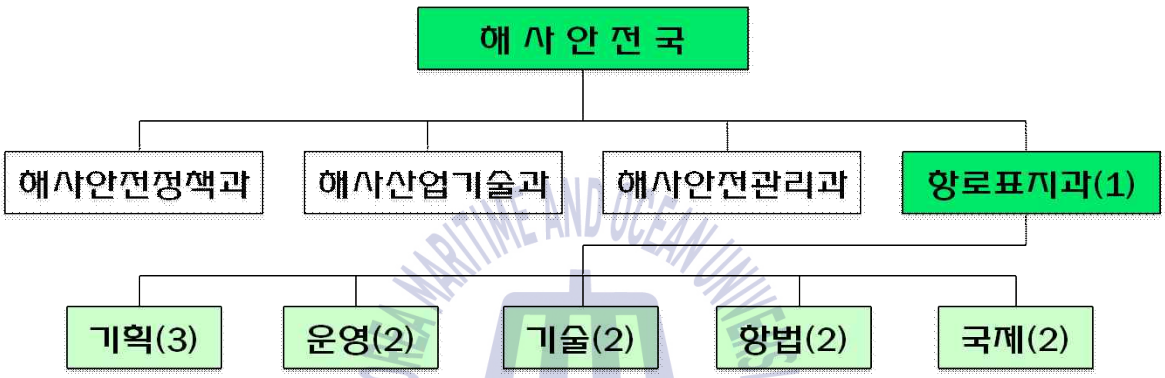


Fig. 4 Organization of AtoN Authority

<Table 1>에 나타난 우리나라 국유 항로표지 현황을 살펴보면 총 3,037기의 항로표지가 운영되고 있다. 이 중 광파표지는 2,724기를 운영하고 있으며 형상표지는 63기를 운영하고 전파표지는 117기를 운영하고 있다. 그리고 특수신호표지는 293기를 운영하고 있다(해양수산부, 2018).

또한 우리나라 항로표지는 <Fig. 5> 및 <Table 2>에서 보이는 것과 같이 매년 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다. 2001년부터 15년간 국유표지 기수는 약 2.5배 증가하였다.

Collection @ kmou

Table 1 Current State of AtoN (National)

Div.		Total
Total		3,037
Visual AtoN	Manned LH	37
	Unmanned LH	967
	LH in breakwater	113
	Lighted beacon	875
	Leading Light	18
	Sector Light	1
	Illuminating light	11
	Buoy	694
	AtoN on Bridge	7
	Offshore Structure etc.	1
	Subtotal	2724
Day Marks	Unlighted Beacon	27
	Unlighted Buoy	34
	Daymark on Bridge	2
	Subtotal	63
Sound Signal	Airsiren	6
	Electric horn	43
	Subtotal	49
Radio navigation	DGPS	11
	Racon	105
	LORAN-C	1
	Subtotal	117
SpecialAtoN	Tidal signal mark	2
	Marine Weather AtoN	27
	AtoNAIS	264
	Subtotal	293

Collection @ kmou

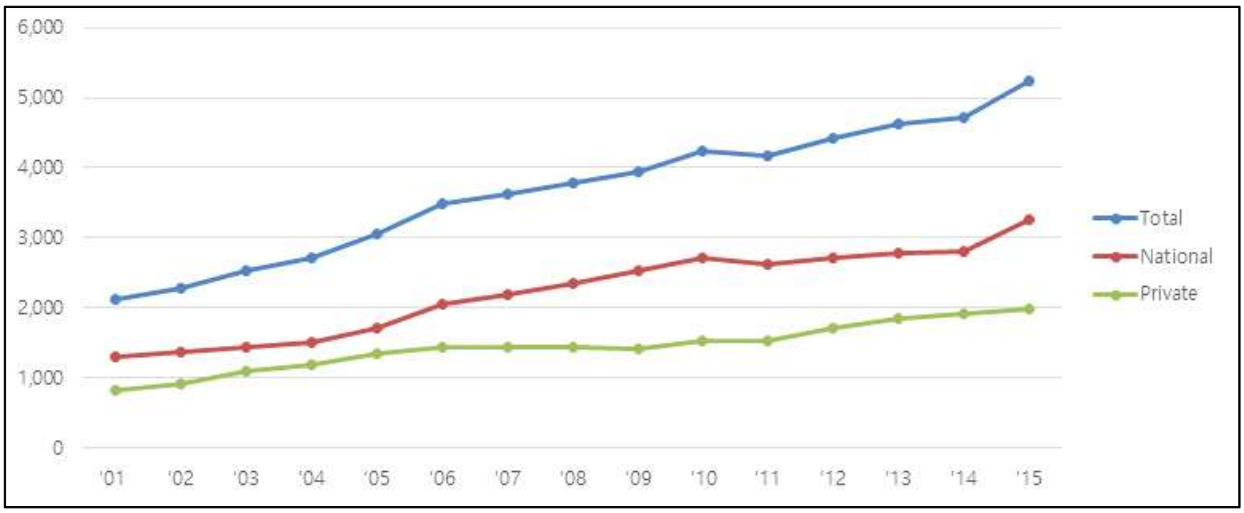


Fig. 5 Annual Increasing in AtoN

Table 2 Annual Increasing in AtoN

Year	Total	National	Private
2001	2,130	1,298	832
2002	2,281	1364	917
2003	2,541	1,439	1,102
2004	2,710	1,515	1,195
2005	3,050	1,711	1,339
2006	3,493	2,062	1,431
2007	3,630	2,191	1,439
2008	3,784	2,353	1,431
2009	3,932	2,530	1,402
2010	4,241	2,723	1,518
2011	4,160	2,631	1,529
2012	4,418	2,715	1,703
2013	4,633	2,790	1,843
2014	4,722	2,801	1,921
2015	5,242	3,256	1,986

Collection @ kmou

2.1.1 시각표지

시각표지(Visual Mark)는 폭넓은 개념으로 자연물 혹은 인공물이 될 수 있다. 곶, 산봉우리, 바위, 나무 등의 자연물 및 교회탑(Church-tower), 첨탑(尖塔), 기념탑, 연돌 등과 같은 현저한 구조물뿐만 아니라 단거리 항로표지로 특별히 설계된 구조물 즉, 형상표지, 광파표지가 포함된다(국승기, 정태권, 2013). 이러한 특성을 시각적으로 확인하고 안전항해에 필요한 정보를 쉽게 얻을 수 있다.

1) 광파표지

광파표지는 형상과 색채, 등광을 이용하여 선박에 시각적으로 지표를 알려주는 것으로 고정 항로표지인 유인등대, 무인등대, 등표(燈標), 도등(導燈), 조사등(照射燈), 지향등(指向燈), 등주(燈住), 교량등과 부유식 항로표지인 등부표(燈浮標)로 분류된다. 부유식 항로표지는 국제적인 기준 IALA 해상부표식(MBS)을 따르고 있다.

가) 유인등대

선박의 안전항행을 위하여 육지, 도서, 암초(대규모)의 지리적인 위치에 세워진 탑이나 실질적인 건물이나 구조물로서, 등대원이 상주하는 것을 유인등대라 한다. 우리나라는 총 38기의 유인등대가 위치하고 있다(해양수산부, 2018). 동해 최북단 대진등대 및 국토 끝단 독도등대로부터 서해 최북단 소청도등대에 이르기까지 우리나라 영해한계선에 위치하여 육지초인표지로서 선박 안전 항행을 위한 항로표지로서 중요한 기능을 발휘하고 있다. 항로표지로서 고유 업무 이외에도 국제항로표지협회(IALA) 해상부표식을 설명하거나 체험할 수 있도록 하여 교육의 장으로 활용하기도 하고, 해양문화공간으로 활용하면서 지역경제 활성화에 기여하는 등 다기능을 수행하고 있다. <Table 3>은 우리나라의 유인등대의 현황을 나타내고 있다. <Fig. 6>은 유인등대의 통합관리시스템, 해양문화공간을 나타내고 있다.

Collection @ kmou

Table 3 Current State of Lighthouses

No.	Name	Location	Elevation(m)	Char.
1	Palmido LH	37-21.50N 126-30.66E	85	FlW10s
2	Budo LH	37-08.99N 126-20.85E	42	FlW15s
3	Sunmido LH	37-17.24N 126-04.64E	176	FlW12s
4	Sochungdo LH	37-45.60N 124-43.80E	100	Fl(4)W40s
5	Gyeogyeolbiyeoldo LH	36-37.56N 125-33.54E	112	FlW10s
6	Ongdo LH	36-38.84N 126-00.51E	103	FlW15s
7	Maldo LH	35-51.49N 126-18.91E	60	FlW10s
8	Eochungdo LH	36-07.51N 125-58.07E	61	FlW12s
9	Mokpogu LH	34-45.74N 126-17.85E	37	FlW5s
10	Hongdo LH	34-42.67N 125-12.25E	89	Fl(3)W20s
11	Gageodo LH	34-05.69N 125-05.95E	84	FlW15s
12	Gasado LH	34-27.61N 126-02.56E	76	FlW15s
13	Dangsado LH	34-05.88N 126-36.15E	109	FlW20s
14	Hajodo LH	34-18.70N 126-05.27E	48	FlW10s
15	Odongdo LH	34-44.65N 127-46.06E	61	FlW10s
16	Sorido LH	34-24.80N 127-48.00E	82	FlW12s
17	Geomundo LH	34-00.42N 127-19.32E	92	FlW15s
18	Seoemal LH	34-47.26N 128-44.30E	121	FlW20s
19	Somaemuldo LH	34-37.18N 128-32.88E	91	FlW13s
20	Gadeokdo LH	34-59.37N 128-49.75E	105	FlW12s
21	Yeongdo LH	35-03.14N 129-05.53E	87	Fl(3)W18s
22	Orukdo LH	35-05.48N 129-07.62E	53	FLW10s
23	Sanji LH	33-31.30N 126-32.79E	72	FlW15s
24	Udo LH	33-29.60N 126-57.99E	140	FlW20s
25	Marado LH	33-07.00N 126-16.18E	51	FlW10s
26	Chujado LH	33-57.58N 126-18.18E	146	FlW20s
27	Ulgi LH	35-29.57N 129-26.58E	53	FlW10s
28	Ganjeolgot LH	35-21.54N 129-21.64E	35	FlW15s
29	Dodong LH	37-29.22N 130-55.17E	116	FlW14s
30	Uleungdo LH	37-31.08N 130-47.85E	182	FlW25s
31	Dokdo LH	37-14.36N 131-52.19E	104	FlW10s
32	Jukbyeon LH	37-03.49N 129-25.77E	49	FlW20s
33	Homigot LH	36-04.66N 129-34.14E	31	FlW12s
34	Songdaemal LH	35-48.44N 129-30.69E	34	FlW20s
35	Daejin LH	38-30.23N 128-25.74E	61	FlW12s
36	Sokcho LH	38-12.82N 128-36.02E	66	Fl(4)W45s
37	Jumunjin LH	37-53.86N 128-50.04E	40	FlW15s
38	Mukho LH	37-33.27N 129-07.11E	91	FlW10s

Collection @ kmou

Fig. 6 Marine Culture Space, Remote control system in Manned Lighthouses

나) 무인등대

등대원이 상주하지 않고 정비원이 주기적으로 점검하는 것을 무인등대라 한다. 일본의 경우 다음과 같은 3가지의 기준에 의해 등대를 설치하고 있다. ① 곶 지형이 없는 곳, 암초 등의 위험이 없는 곳에는 등대를 설치하지 않는다. ② 야간 항행이 어렵거나 위험한 해협에 등대를 설치한다. ③ 해협과 수많은 섬 사이에서 타 선박의 확인이 곤란한 장소에 등대를 설치한다. 우리나라도 일본의 경우와 같이 주로 방파제, 곶, 암초 등 위험이 있는 곳에 설치를 하고 있다. 최근 점등과 소등이 자동화되고 정보통신기술이 첨단화 되면서 항로표지 통합관리시스템을 통해 원격으로 관리하는 것이 확산되는 추세에 있다. 우리나라의 무인등대는 총 2,896기가 있다(해양수산부, 2018). <Fig. 7>은 부산신항의 방파제에 설치운영중인 무인등대를 나타낸다.

Collection @ kmou

Fig. 7 Unmanned Lighthouse in Busan New Port Breakwater

다) 등표

암초상이나 수심이 얕은 곳에 설치하여 그 위험을 표시하는 것으로 등대 불빛을 이용하여 그 위치를 알려주는 항로표지이다. 설치 위치에 따라 고립장애표지, 측방표지, 방위표지로 구분된다. 또한 해양수산부 및 기상청에서는 “해양기상정보제공시스템 구축계획(2006.11.9.)”에 따라 2007년부터 설치 운영 중이며, 등표에 기상관측장비를 설치하고 수중에는 해상상태를 측정할 수 있는 파고계 등을 설치하여 풍향, 풍속, 기압, 기온, 파고, 파주기, 수온 등의 해양기상을 30분 간격으로 관측하고 있다. 등표는 전국에 448기가 설치되어 있으며 그 중 22기에 해양기상장비를 설치하여 운영 중이다(해양수산부, 2018). <Fig. 8>은 비콘에 풍향풍속계, 조류센서 등 해양기상장비를 설치하여 운영하고 있는 것을 나타낸다.

Collection @ kmou

Fig. 8 Automatic Weather System and Beacon

라) 도등

통항이 곤란한 좁은 수로, 만 입구, 항구 등에서 선박을 안전한 항로로 유도하기 위하여 항로의 연장선상의 육지에 설치된 고저차가 있는 등화를 갖춘 2기의 탑 모양의 구조물로서 주간에는 2기의 구조물을 야간에는 2개의 등화를 수직선상으로 보고 진입하게 함으로써 선박이 안전하게 항로를 통항할 수 있도록 한 항로표지이다. 이외에도 동해 최북단 저도어장 내 선박의 안전한 어로활동을 위해 도등을 운영하는 사례도 있다. 조업을 하는 어민들이 조류나 바람에 떠밀려 월선하기도 하는데 저도도등을 통해 선박의 위치를 쉽게 확인하고 월선을 방지할 수 있다. 도등은 <Table 4>와 같이 전국에 18기가 설치되어 있다 (해양수산부, 2018). <Fig. 9>은 부산항북항과 부산항신항에 설치운영중인 부산항도등, 부산항신항송도도등, 부산항신항내항도등을 나타낸다.

Collection @ kmou

Table 4 Current State of Leading Lines

Name	Location	Char.	Elevation (m)	Visibility (NM)	Remark
Busan Port Leading Light(Front)	35-07.67N 129-01.55E	F G	366	25	-
Busan Port Leading Light(Rear)	35-07.98N 129-01.02E	F G	461	25	-
Gamcheon Port Leading Light(Front)	35-03.70N 128-59.62E	F G	106	23	Leading line : 314.3
Gamcheon Port Leading Light(Rear)	35-03.99N 128-59.26	F G	163	23	Leading line : 314.3
Busan New Port(Inner) Leading Light(Front)	35-04.97N 128-49.68E	F G	104	24	Leading line : 61.1
Busan New Port(Inner) Leading Light(Rear)	35-05.12N 128-50.02E	F G	146	24	Leading line : 61.1
Busan New Port Leading Light(Front)	35-04.66N 128-46.07E	F G	106	39	Leading line : 338.6
Busan New Port Leading Light(Rear)	35-05.77N 128-45.56E	F G	195	39	Leading line : 338.6
Busan New Port Songdo Leading Light(Front)	35-04.46N 128-46.10E	F G	41	23	For Distance and Bearing Measurement (360m From North End)
Busan New Port Songdo Leading Light(Rear)	35-04.46N 128-46.05E	F G	58	23	For Distance and Bearing Measurement (360m From North End)
Yeonpyeongdo Port Leading Light(Front)	37-39.48N 125-42.82E	F G	10	7	Leading line : 333
Yeonpyeongdo Port Leading Light(Rear)	37-39.55N 125-42.77E	F G	25	7	Leading line : 333
Jeojin Leading Light(Front)	38-33.16N 128-24.50E	F W	62	24	Leading line : 270
Jeojin Leading Light(Rear)	38-33.16N 128-24.50E	F W	115	24	Leading line : 270
Jeodo Leading Light(Front)	38-24.16N 128-23.52E	F G	29	5	Showing Jeodo Fishery Boundary
Jeodo Leading Light(Rear)	38-24.16N 128-23.11E	F G	48	5	Showing Jeodo Fishery Boundary
Pohang New Port Leading Light(Front)	36-01.26N 129-25.43E	F G	35	14	Leading line : 241.5
Pohang New Port Leading Light(Rear)	36-00.90N 129-24.66E	F G	73	14	Leading line : 241.5

Collection @ kmou

Fig. 9 Leading Lights of Busan Port(North) and Busan New Port

Collection @ kmou

마) 조사등

조사등은 <Fig. 10>에 나타난 것과 같이 육지에서 가까운 곳에 위치한 암초 등을 조사(照射)하거나 항구가 좁은 항만 등에서 배의 입출항을 쉽게 하기 위하여 방파제등대에 병설하여 다른 한편의 방파제 선단 등을 조명하여 선박에 암초 등 위험물의 소재를 알려주는 항로표지이다. 조사등은 총 11기를 설치 운영 중이다(해양수산부, 2018).

바) 지향등

지향등은 <Fig. 10>에 나타난 것과 같이 발사하는 녹등/백등/적등 등화의 각도에 따라 각각 다른 등화의 색상과 등화의 점멸주기로서 중앙의 백등의 불빛을 보고 선박이 항해 할 수 있도록 하는 항로표지이다. 지향등은 1기를 설치 운영 중이다(해양수산부, 2018).

사) 등주

등주는 <Fig. 10>에 나타난 것과 같이 굴곡이 심한 운하, 강 또는 어선통항로의 협수로를 표시하기 위하여 해저면, 강바닥에 수직 막대형으로 설치하는 항로표지시설로서 표체의 직경(30cm 내외)이 작고 간단한 구조로서 원칙적으로 부동등을 사용하나, 일체형등명기를 사용한 항로표지이다. 등주는 427기를 설치 운영 중이다(해양수산부, 2018).

아) 교량등(야)

교량등은 <Fig. 10>에 나타난 것과 같이 선박이 통항하는 구역에 설치된 교량 시설물 보호와 교량 아래를 통항하는 선박의 안전을 확보하기 위하여 교량의 상판 및 교각 등의 교량 시설물에 설치하는 항로표지이다. 교량등은 7기를 설치 운영 중이다(해양수산부, 2018).

Collection @ kmou

Fig. 10 Illuminating Light, Sector Light, Fixed Marking of Bridge

Collection @ kmou

자) 등부표

암초나 물속의 얕은 퇴적층 또는 항로나 수로 등을 표시하기 위해 물 위에 고정시켜 띄운 인공적인 항로표지이다. 등부표에는 부력실이 수중에 들어가는 구조로 침추와 표체가 바로 연결되어 이출거리가 발생하지 않는 스파부이, 표체 직경이 10m 이상으로 고광도 광원과 각종 항해안전지원시설을 융합한 대형 등부표 랜비(LANBY), 육지 초인이나 항만, 항로에의 접근을 알리기 위하여 소정의 위치에 설치된 통상 고광도의 등화를 갖춘 소형 선박과 같은 등선이 있다. 등부표는 694기를 설치 운영 중이다(해양수산부, 2018).

등부표는 IALA 해상부표식(Maritime Buoyage System)을 따르고 있다. 해상부표식은 조화시켜 사용할 수 있는 측방표지(Lateral Marks), 방위표지(Cardinal Marks), 고립장애표지(Isolated Danger Marks), 안전수역표지(Safe Water Marks), 특수표지(Special Marks), 신장해물표지(Marking New Dangers), 등선(Major Floating Aids)으로 총 7종이다.

(1) 측방표지(Lateral Marks)

측방표지는 <Fig. 11>에 나타난 것과 같이 A와 B 지역이 다르다. 우리나라는 IALA B지역에 속한다. B지역에서는 좌측(port hand) 녹색(green), 우측(starboard hand) 홍색(red)의 등화와 표면색으로 표시하고 두표는 좌현표지의 경우 원통형, 우현표지의 경우 원뿔형으로 되어 있다. 우선항로표지는 수로가 분리된 지점에서 부표의 관습적인 방향에 따라 표시된다. <Fig. 12>에 나타난 것과 같이 좌항로 우선표지는 표면색은 녹색에 홍색 수평 띠가 있으며 두표는 원통형이고 등색은 녹색, 등질은 녹색섬광(2+1)이다. 우항로 우선표지는 표면색은 홍색에 녹색 수평 띠가 있으며 두표는 원뿔형이고 등색은 홍색, 등질은 홍색섬광(2+1)이다.

Collection @ kmou

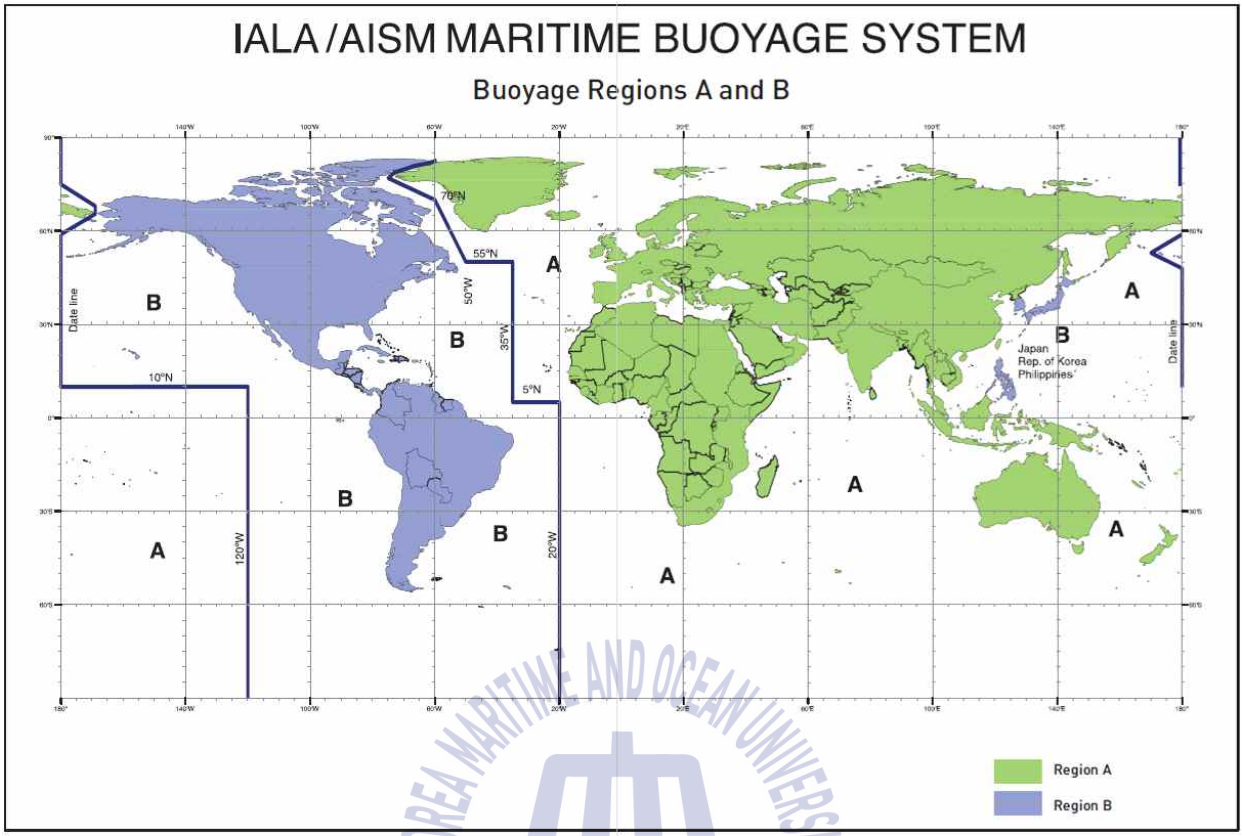


Fig. 11 IALA/AISM MARITIME BUOYAGE SYSTEM BUOYAGE REGIONS A AND B

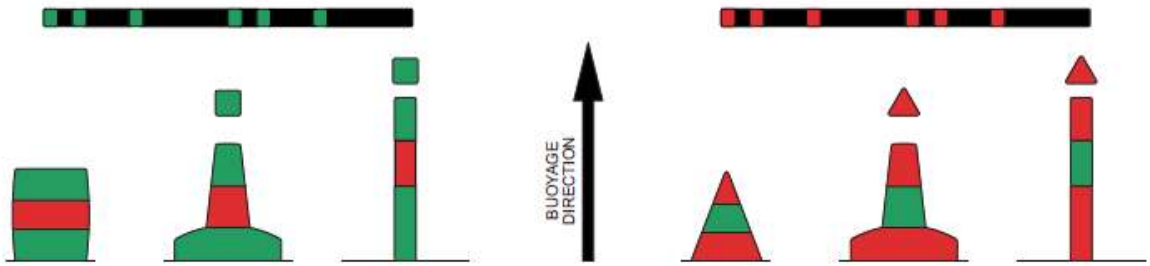


Fig. 12 Preferred channel to Starboard(left) and Port(right)

Collection @ kmou

(2) 방위표지(Cardinal Marks)

<Fig. 13>은 방위표지를 나타낸 것으로 표지가 설치된 측의 수역이 가항수역임을 표시한다. 예를 들면 북방위표지는 북측뿐만 아니라 동측과 서측도 가항수역이다. 항해자는 북방위표지의 북측, 동측, 서측이 안전함을 알지만 안전항해를 위하여 해도를 참고해야 된다.

북방위표지는 두표의 정점이 모두 위쪽 방향이고 황선 위에 흑선이며 등질은 연속적인 급성광 또는 초급성광이다. 남방위 표지는 두표의 정점이 아래쪽 방향이고 황선 밑에 흑선이며 등질은 6회의 급섬광 또는 초급성광 다음 즉시 장섬광 그 다음은 어둠이다. 동방위표지는 두표의 정점이 서로 반대방향이고 황선의 상하에 흑선이며 등질은 3회의 급섬광 또는 초급성광 다음에 어둠이다. 서방위표지는 두표의 정점이 서로 닿는 방이고 황선은 흑선의 상하에 있으며 등질은 9회의 급섬광 또는 초급성광 다음에 어둠이다.

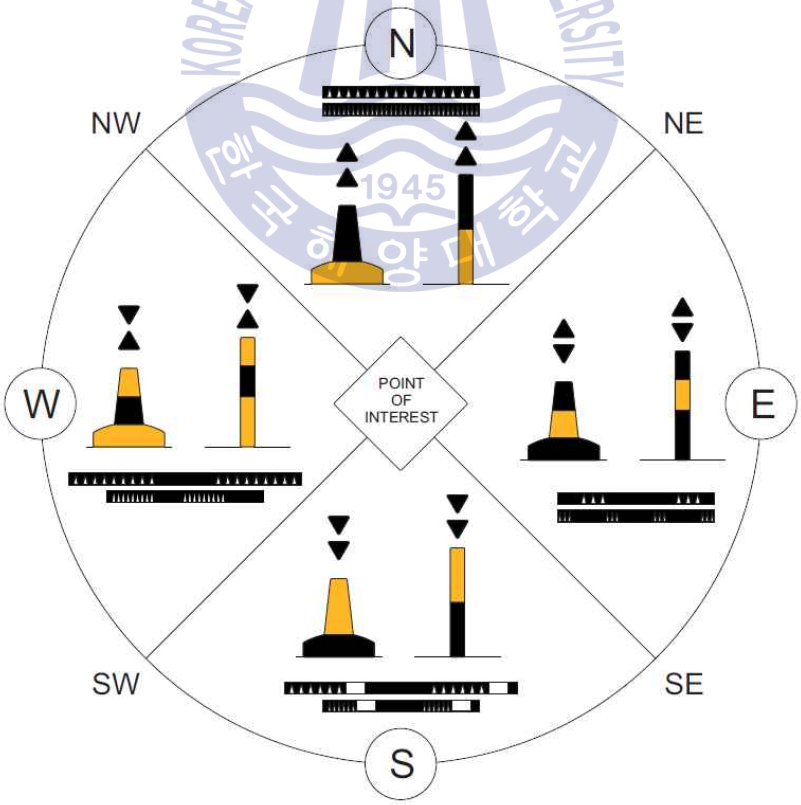


Fig. 13 Cardinal Marks

Collection @ kmou

(3) 고립장애표지(Isolated Danger Marks)

고립장해표지는 주위 수역이 항행 가능한 소해역의 위험물 위에 설치한다. 2개의 구형 두표와 군섬광 백등(2섬광)이 고립장해표지로 사용되며 고립장해표지는 방위표지와 같이 사용되기도 한다.

(4) 안전수역표지(Safe Water Marks)

안전수역표지는 위험물을 표시하는 것이 아니고 자기 주위의 수역이 항행 가능한 경우 설치한다. 예를 들면, 수로의 중앙 또는 외해에서의 시인 표시에 사용할 수 있다.

안전수역표지는 위험 표시 부표와는 전혀 다른 형상을 하고 있다. 그 형상은 구형 혹은 다른 방법으로는 단 하나의 홍색 구형의 두표를 가진 망대형(pillar), 원기둥형(spar)이다. 또 이것은 홍백종선을 가진 유일한 표지이다. 등화는 필요한 경우 등질이 등명암광, 명암광, 장섬광(1섬광), 모스부호 A(· —)인 백색등을 사용한다.

(5) 특수표지(Special Marks)

특수표지는 원칙적으로 항행을 돕기 위한 것이 아니나 해도나 기타 수로서지에 표시된 명백한 특수 상황이나 특수 구역 표시에 이용된다.

이 표지의 도색은 황색이며, 황색의 X자 두표를 설치할 수 있고, 또 사용되는 등화는 황색등이다. 시계가 나쁠 때, 황색등과 백색등 사이의 혼동 가능성을 피하기 위하여 황색등의 등질은 이 규정에서 사용하는 백색등의 등질과는 달리하여야 한다. 이 표지의 모양은 다른 표지와도 혼동되지 않게 하여야 한다. 예를 들면, 수로의 좌측에 위치하는 특수표지는 원통형이어도 무방하나 원추형이어서는 아니 된다. 또 특수표지는 그 표지의 목적을 표시하기 위하여 문자나 숫자를 표시할 수 있다.

Collection @ kmou

(6) 신장해물표지(Marking New Dangers)

해도나 수로서지에 아직 기재되지 않은 '새로운 위험물'에 대하여 이 정보가 충분히 공지될 때까지 통상의 표지를 정확히 2개로 하여 표시할 수 있다는 점에 특히 주의를 기울여야 한다. 신장해물표지에는 모스부호 D를 발하는 Racon을 설치할 수도 있다.

2) 형상표지

형상표지는 주간에 시인이 가능하도록 그 형상, 색채 등으로 위치를 표시하는 것으로 입표, 교량표, 통항신호표 및 부표가 있다.

가) 입표

입표는 <Fig. 14>과 같이 암초, 노출암 등의 위치를 표시하기 위하여 설치하는 경계표이다. 해중에 고립되어 설치되므로 파랑 및 풍압, 조류 등에 견딜 수 있도록 위치를 잘 선정하고 견고하게 설치하여야 한다. 등화가 없는 주간용 항로표지인 것이 특징이다. 입표는 27기를 설치 운영 중이다(해양수산부, 2018).

나) 부표

부표는 <Fig. 14>과 같이 배 등의 항행을 도울 목적으로 닻이나 추를 사용해 해저에 연결하여 해상에 띄운 구조물이다. 선박에 암초, 얕은 여울 등의 장해물의 존재를 알리거나 항로를 표시하기 위해 사용한다. 부표는 34기를 설치 운영 중이다(해양수산부, 2018).

다) 교량표(주)

교량표지는 <Fig. 14>과 같이 선박이 통항하는 구역에 설치된 교량 시설물 보

Collection @ kmou

호와 교량 아래를 통항하는 선박의 안전을 확보하기 위하여 교량의 상판 및 교각 등의 교량 시설물에 설치하는 항로표지이다. 교량표(주)는 2기를 설치 운영 중이다(해양수산부, 2018).

라) 통항신호표

입·출항 시 소형선박을 포함한 항해선박의 통항안전을 확보하기 위해 통항 가능 및 불가능을 표시한다. 통항신호표는 우리나라에서 운영 사례가 없다(해양수산부, 2018).

Fig. 14 Unlighted Beacon, Unlighted Buoy, Unlighted Fixed Marking of Bridge

Collection @ kmou

2.1.2 전파표지

전파의 직진성과 등속성을 이용하여 위치를 측정하는 방법이 고안되었는데 그 시초는 무선방위측정기를 사용하여 전파가 오는 방향을 측정하는 것이었지만 그 후 데카, 로란, 오메가 등의 방식이 개발되어 항법상 중요한 역할을 해왔으나 오늘날의 항법은 인공위성을 이용한 항법시스템으로 바뀌었다. 이렇게 전파를 이용한 항법시스템을 전파항법(Radio Navigation System)이라 한다. 전파항법을 위한 무선국 시설을 항로표지 분류상 전파표지라고 한다(정태권, 국승기, 2013). 전파표지의 종류는 GNSS, DGNSS, SBAS, 첨단 지상파항법시스템(eLoran), 레이더비콘, AIS AtoN 등이 있다.

1) 위성항법시스템(GNSS)

<Fig. 15>에 나타난 것과 같이 위성항법시스템(GNSS)은 GPS, GLONASS, Galileo, Beidou 등과 같이 위치 측정에 사용되는 우주에 설치된 시설이다.

가) GPS (미국)

Block IIA - 4기(여분), Block IIR - 12기(운영), 2세대 민간용 신호인 L2C 신호가 추가된 Block II-M - 7기(운영), 3세대 민간용 신호인 L5 신호가 추가된 1기(여분), Block IIF - 12기(운영) 총 36기가 운영되고 있다. 2016년 동안 가장 좋았던 한주 간의 성능은 44.1cm이었으며, 가장 좋았던 날의 성능은 35.0 cm 그리고, 가장 나빴던 날의 성능은 67.3cm이었다.

차세대 위성은 4개의 민간 신호(L1 C/A, L1C, L2C, L5), 4개의 군용 신호(L1/L2 P(Y), L1/L2M), 3개의 향상된 성능의 루비듐 원자시계가 탑재된 Block III 위성이 발사될 예정이다(NOAA, 2017).

Collection @ kmou

Fig. 15 GPS Satellite

나) Galileo (유럽)

총 18기의 위성 중 15기 위성 정상 운영 중이다. <Fig. 16>에서 보여지는 것과 같이 최소 24개의 GPS위성이 처음으로 그들의 궤도에서 운영 가능하게 되고, 운행을 이용 가능하게 될 때의 능력의 수준을 뜻하는 초기 운영서비스를 2016년 12월 15일에 선언을 하였고 SAR(Search and Rescue) 서비스를 선언하였다. 수평위치 정확도는 2.84m(95%)이고 수직위치 정확도는 4.74m(95%)이다 (European GNSS Service Centre, 2017).

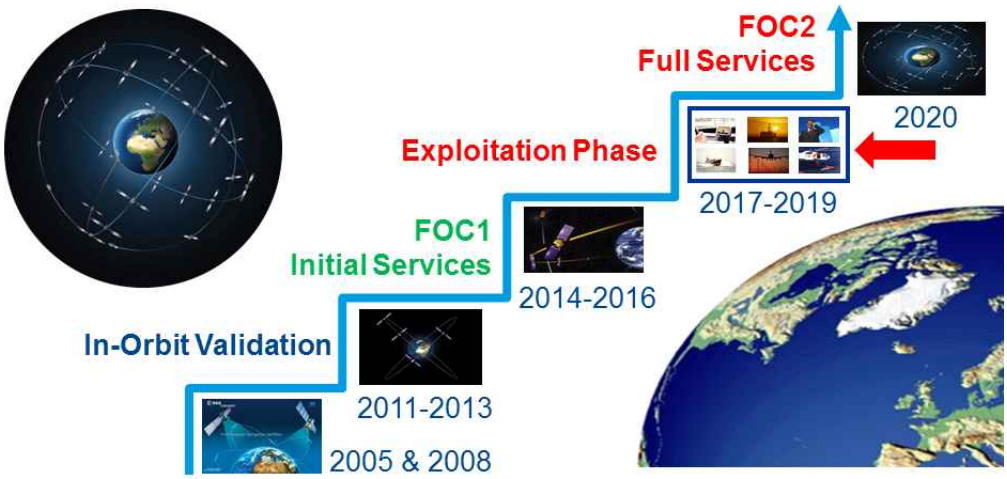


Fig. 16 In-Orbit Validation and SAR Service of Galileo

Collection @ kmou

다) Galileo (러시아)

3세대 위성인 GLONASS-M 위성은 현재 안정적으로 잘 운영되고 있으며 2016년 2월 4세대 위성인 GLONASS-K 위성의 비행시험이 완료되었다. 2016년 2월과 6월 2기의 위성을 발사하였으며, 같은 종류의 위성 7기가 지상에 준비되어 있다. 하지만 현재로서는 2018년까지 위성 발사 계획이 없고 궤도에 올랐을 때 위성의 신뢰성 보장을 위하여 위성 발사 전까지 지상에서 보관하기 위한 새로운 기술이 요구되고 있는 실정이다. 위성 25기가 운영 중이다. <Fig. 17>에 나타난 계획과 같이 향후 2020년까지 30기의 위성 운영을 목표로 하고 있다 (Information and Analysis Center for PNT, Russia, 2017).

Fig. 17 The Plan of GLONASS Satellite

라) Beidou (중국)

현재 23기의 MEO를 운영 중이다(Information and Analysis Center for PNT, Russia, 2017). 10m 위치 정확도 성능을 달성하였으며 새로운 신호구조 및 설계

Collection @ kmou

시험을 하고 있다. 고정밀의 수소시계가 위성에 탑재되어 있으며 2기의 IGSO 위성 추가로 PDOP이 3.07에서 2.84로 향상되었으며, 평균 가시위성 수가 7개에서 8.3개로 증가되었다. (GPSWORLD, 2017)

2) 보정시스템(DGNSS)

GNSS수신기가 받는 오차에는 위성의 시계 요동, 위성의 궤도 요동, 대기권 통과 시 전파의 지연 등이 있다. 이와 같은 오차의 요인은 GNSS수신기 내부에서는 예측할 수 없다. 따라서 이들 오차를 계측하여 보정할 필요가 있다. 이 때문에 실제로 측위를 하는 GNSS수신기 이외에 또 1대의 GNSS수신기를 사용한다.

이들 GNSS수신기 중에서 적어도 1대는 위치가 정확하게 알려진 고정된 장소에 설치하여 위성으로부터 보내져 온 신호로부터 자신의 위치를 계산하여 사전에 알고 있는 위치와 비교한다. 이 차가 GNSS신호의 오차이며 GNSS의 오차는 시간과 더불어 시시각각 변하고 있으므로 한번 계측한 오차를 간단히 처리할 수는 없다. 이들 2대 이상의 GNSS수신기는 항상 동시에 동작하고 있어야 된다.

이 오차를 계측하는 수신기를 기준국이라 부르며 기준국은 항상 오차를 계측하여 이동하는 GPS 수신기에 이 계측한 오차 정보를 보낸다. 이동하고 있는 GPS 수신기는 기준국과 동일한 오차를 받고 있다고 생각하고, 실제로 수신한 관측 값으로부터 그 오차분을 차감한다. 이 차를 취한다는 뜻에서, 이 방식을 DGNSS라 부르고 있다(지형 공간정보체계 용어사전, 2016)

지상기반보강시스템을 호주에서는 A Ground-based Regional Augmentation System (GRAS)이라하고, 대한민국과 미국 등의 국가에서는 Differential GPS로 알려져 있다(국립해양측위정보원, 2018).

우리나라에서는 1999년 팔미도 등대에 설치한 이래로 현재 17기의 DGPS를 운영중이며 커버리지는 <Fig. 18>과 같다.

Collection @ kmou

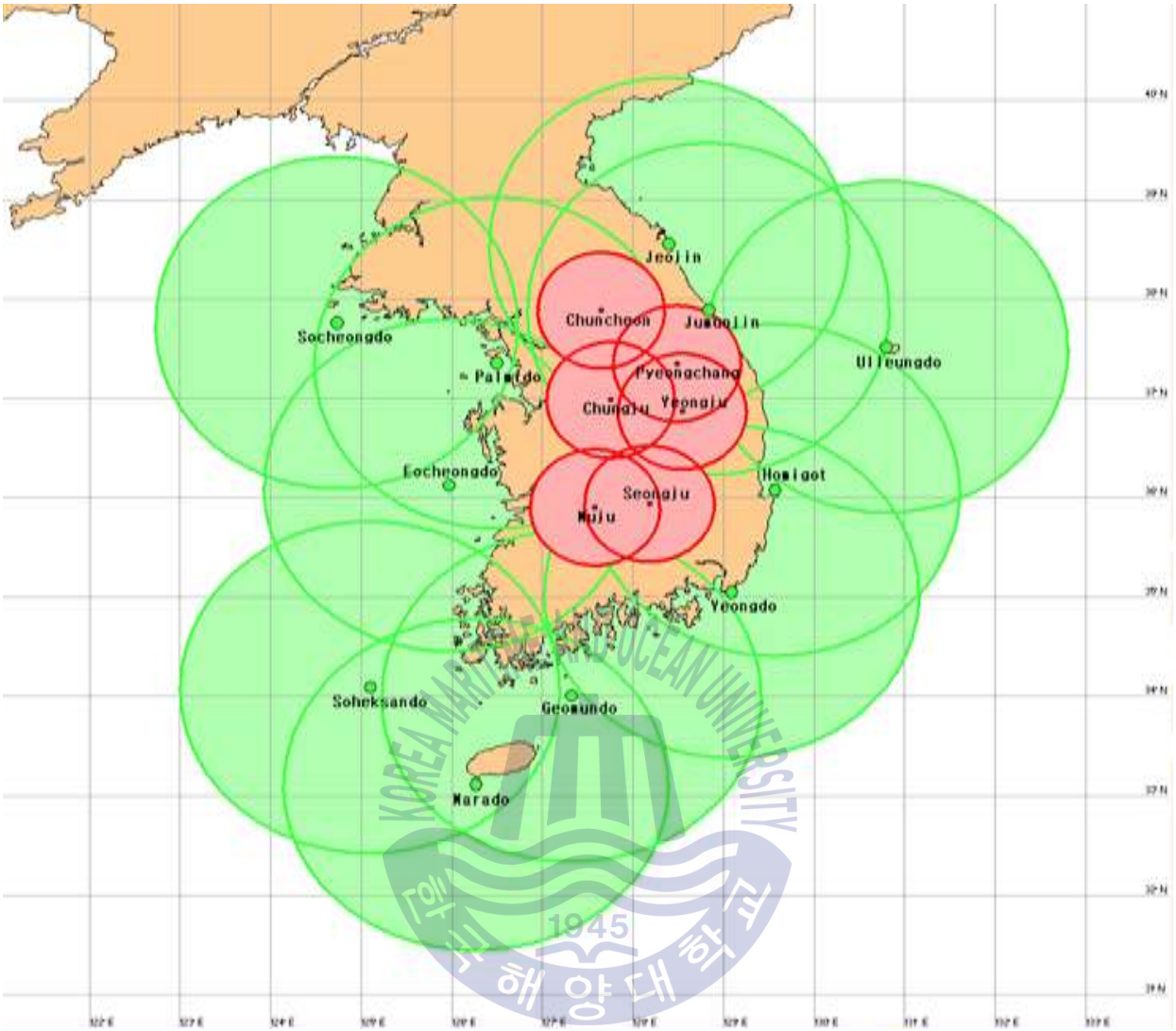


Fig. 18 Current State of DGPS in Korea (National Maritime PNT Office, 2017)

위성기반시스템을 Satellite-Based Augmentation System(SBAS)라고 하며 <Fig. 19>에 나타난 것과 같이 미국에서 운영하는 시스템은 Wide Area Augmentation System(WAAS), 유럽에서 운영하는 시스템을 European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)이라고 하며, 일본에서 운영하는 것을 Multi-Functional Satellite Augmentation System (MSAS), 우리나라의 것을 KASS라고 한다. 이외에도 인도의 QZSS, 중국의 BDSBAS가 있다(2017년 기준).

Collection @ kmou

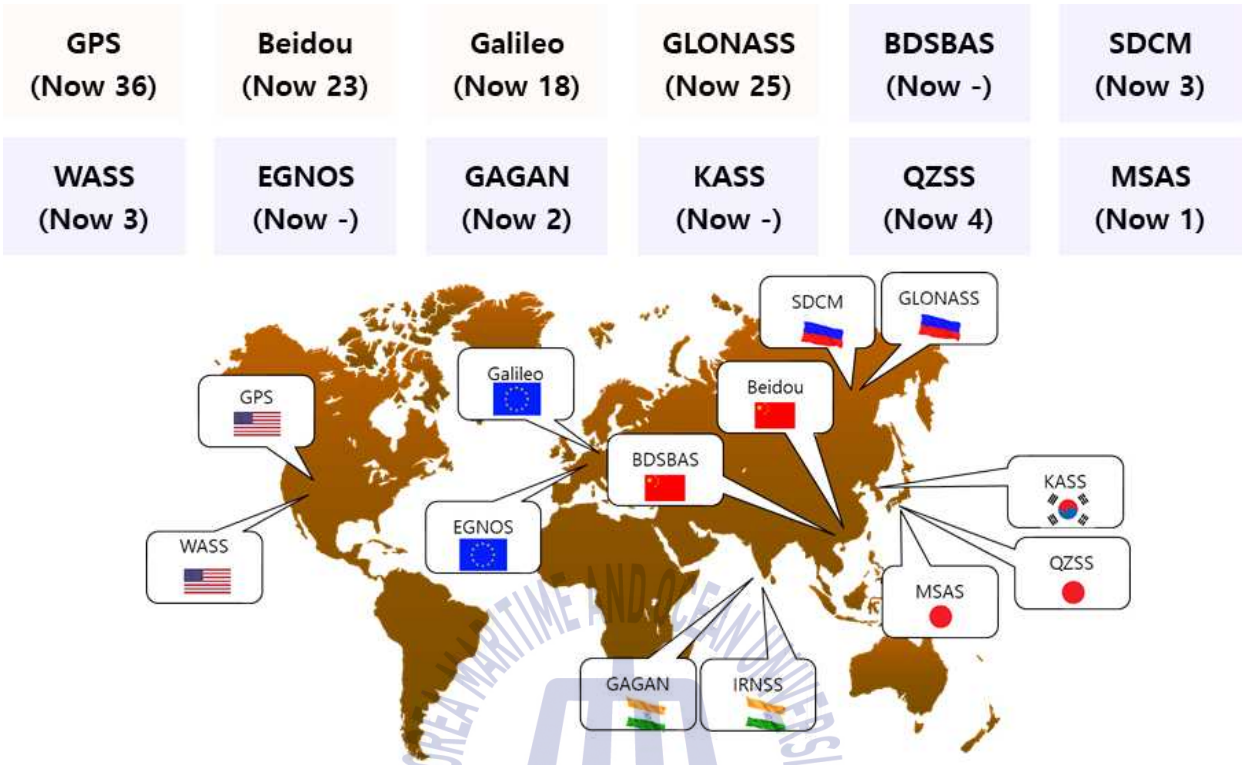


Fig. 19 Current State of GNSS and SBAS

가) WASS (미국)

현재 3기의 GEO 위성을 운영 중이다. <Fig. 20>과 같은 G-III 수신기는 현재 방송 중인 GPS 주파수뿐만 아니라 차세대 주파수를 모두 처리 가능하도록 고도화되어 있다. 차세대 GUS 및 다른 SBAS 시스템에서 활용 가능하도록 설계되었으며 Galileo 신호처리를 위한 펌웨어 업데이트 및 SW를 시험 중이다. 또한 이중주파수 운영을 위한 인프라 고도화와 기술 고도화를 진행 중(Phase IV Segment 1)이다. WASS의 성능으로 수평위치정확도는 0.575m ~ 1.322m이며 수직위치정확도는 0.744m ~ 1.662m이다(WASS Program Status and Modernization, 2017).

Collection @ kmou

Fig. 20 WASS G-III Receiver

나) EGNOS (유럽)

EGNOS 위성은 2018년 말에 발사 예정이고 2022년 EGNOS 시스템 품질보증이 계획되어 있다. GSA DFMC 수신기 프로토타입은 제작중이며 2018년 11월에 개발이 예정되어 있다(European GNSS Service Centre, 2017).

다) GAGAN (인도)

2013년 12월부터 서비스를 시작하였으며 현재 2기의 위성을 운영 중이다. GAGAN의 성능은 수평정확도는 평균 0.7m이며 수직정확도는 확인된 바 없다. GAGAN을 이용하여 자연재해, 재난, 위험상황에 대한 조기 알림 서비스 메시지를 실어 방송중이다(Airports Authority of India, 2017).

라) MSAS (일본)

2007년부터 1기의 위성을 운영 중이다. 항공용 서비스는 후쿠오카 비행정보

Collection @ kmou

구역(FIR) 내에서만 전리층 영향으로 수평안내(Horizontal Guidance) 서비스를 제공하고 있다. 2023년부터 신규 위성을 추가하여 2기의 위성을 운영할 계획이다. 2개의 위성으로 LPV 운영 및 수직안내(vertical Guidance)서비스를 개시하고 적도부분 저위도 지방에서의 운영을 위한 고성능 소프트웨어 개발을 계획 중이다(Japan Civil Aviation Bureau, 2017).

마) SDCM (러시아)

현재 3기의 위성을 운영 중이다. 수평 위치오차는 1m(95%) 이내이고 수직오차는 1.5m(95%) 이내이다. 향후 0.5m 수준의 위치정확도 향상, 데이터 이상 신호의 전달 시간 6초 이내로 단축을 목표로 하고 있다(United Nations Office for Outer Space Affairs, 2017).

바) BDSBAS (중국)

3기의 위성 운영과 중국 내 30개의 기준국 및 중국 주변 20개의 기준국으로 구성하는 것을 목표로 하고 있다(International Cooperation Center China Satellite Navigation Office, 2017)

사) KASS (한국)

<Fig. 21>에 나타난 것과 같이 우리나라는 KASS 서비스 제공자(KSP: KASS Service Provider)를 2019년까지 설립하고 2020년부터 운영할 계획이다. 공개서비스는 2020년 7월 예정이며 SoL 서비스는 2022년 10월로 계획되어 있다(Korea Aerospace Research Institute, 2017).

Collection @ kmou

Fig. 21 Road Map of KASS Program

3) 첨단 지상파항법시스템(eLoran)

첨단 지상파항법시스템(eLoran : Enhanced LOng RAnge Navigation)은 중요한 국가 인프라 뿐만 아니라 민간분야에 제공되는 PNT(Position. Navigation and Timing) 서비스 정보가 전파교란에 취약한 GNSS 정보에 의존함으로써 발생할 수 있는 위험을 방지하기 위한 강건한 PNT 정보서비스 시스템으로 알려져 있다. Spoofing은 <Fig. 23>에서 보이는 것과 같이 의도적으로 GNSS 신호를 조작하여 기존과 다른 정보를 제공하는 것을 뜻한다. 이외에도 GNSS 신호는 <Fig. 24>에서 보이는 것과 같이 의도적으로 JAMMER를 통해 GNSS 신호 수신을 방해하거나 태양활동 등에 의해 비의도적으로 GNSS 신호 수신이 방해될 수도 있다.

우리나라는 2020년까지 <Fig. 22>과 같이 포항, 광주, 강화도에 송신국을 설치하고 보정기준국(dLoran)을 2개소를 구축하여 보정기준국 반경 30km 이내에 해상위치정확도 20m 이내(95%) 및 시각동기 50ns 이내를 목표로 개발 중에 있다.

Collection @ kmou

Fig. 22 Technical Development Plan of eLoran in Korea

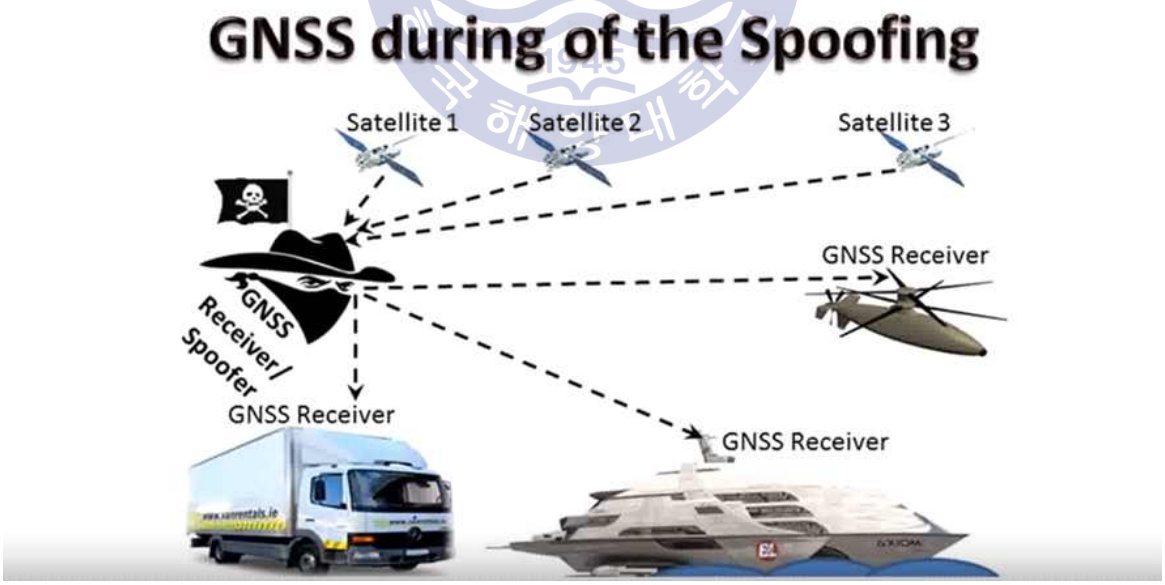


Fig. 23 GNSS during of the Spoofing (Polish Air Force Academy)

Collection @ kmou

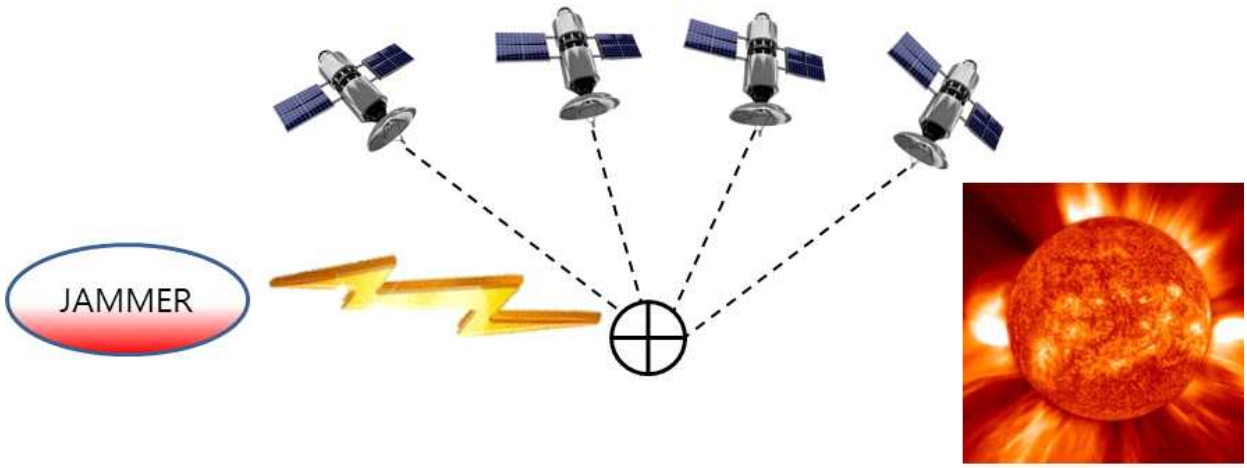


Fig. 24 Intended or unintended interference into GNSS

4) 레이다 비콘

레이다 비콘(Racon)은 선박이 운항하면서 해상에 짙은 안개가 끼거나, 야간 등 시계가 불량할 때 위험한 암초 등 항행 장해물을 회피하거나, 지정된 항로를 레이다 화면에 표시하여 항해자가 안전하게 운항할 수 있도록 도와주는 전파를 이용하는 안전 항행장비를 통칭한다.

Racon의 기능은 <Fig. 25>에 나타난 것과 같이 선박에 장치된 레이더가 동작을 하면서 발생하는 전파(Pulse파)가 Racon에 도달하면 레이콘에서 자동적으로 응답 전파를 발사하여 작동하고 있는 레이더의 화면에 휘선기호(Bright-line Spectrum)로 특별히 정해진 모르스 신호로 표시되어 항해자가 위험물 또는 목표물의 거리와 방위, 위치를 파악할 수 있도록 안전항해를 도모할 수 있도록 한다.

최근 맵매칭 기법을 이용한 위치산출에 필요한 정보 식별정보, 위치, 이름, 상태 등을 반송파(Return pulse)에 실어 제공하는 eRacon이 개발 중에 있다.

Collection @ kmou

Fig. 25 Image of Racon Signal on Radar Display

2.1.3 음파표지

음파표지는 음파를 발생시켜 음향을 발사함으로써 선박에 그 위치를 알리는 것이다. 이 목적으로 음향을 발하는 기계 기구를 무신호기라 한다. 무신호기는 안개, 눈, 노을, 호우(豪雨), 연무(煙霧) 등에 의하여 시계불량한 날이 많은 지역 또는 항만에 설치된다. 이렇게 시계 불량한 날에는 주야에 구별 없이 운용된다. 무신호는 음향에 의한 음달거리는 비교적 짧다. 그리고 기상, 해상 상황에 따라 음달거리, 음향방위 변동이 크다. 현재 음파표지는 주로 난바다 구조물, 교량, 방파제 또는 등선이나 랜비(Lanby) 같은 항로표지를 보호하기 위한 위험 경보용으로 사용되고 있다.

청각에 의한 안개 신호의 거리 및 방위 결정은 대단히 부정확하기 때문에 IALA는 1985년 4월 제5회 총회에서 “음파표지를 위치결정용의 원조시설이 아닌 위험물 경고용으로만 사용하여야 한다.” 라고 결의하였다. 여기서의 위험물이란 해상구조물, 신재생에너지, 인프라, 다리, 방파제, 고립되어 있는 항로표지 등과 같은 인공 구조물을 말한다. 설치를 하게 되면 통상 음달거리는 최소 2마일은 되어야 한다. 이 음파표지에 대한 백업으로 0.5마일의 통상 음달거리를 가진 음파표지를 추가로 설치할 수도 있다(정태권, 국승기, 2013).

Collection @ kmou

1) 전기혼

음파표지는 <Fig. 28>과 같이 전기장치에 의한 저주파 발진으로 발음기를 울려 소리를 내는 음파표지로 우리나라에서 총 43기를 설치 운영 중이다(해양수산부, 2018).

2) 에어사이렌

에어사이렌은 <Fig. 28>과 같이 공기압축기로 만든 공기에 의하여 사이렌을 울린다. 통산 안개가 많은 해역에 설치된 등대에 병설되어 있으며 안개가 발생하면 그것을 검출하고 자동적으로 음향을 발하여, 선박에 무신호소의 위치를 알리는 것이다. 우리나라에서 총 6기를 설치 운영 중이다. 발동발전기를 이용하여 공기를 압축하는 방식을 채택하고 있어 주로 유인등대에서 운영하고 있다(해양수산부, 2018).

Fig. 26 Air Siren, Electric Horn and Generator

Collection @ kmou

2.1.4 특수신호표지

좁은 해협·수로 등에서 선박의 교통량, 항법상의 각종자료 및 조류의 방향 등을 주야간에 전파 또는 형상물로써 항생선박에 항법상의 자료를 통보하는 것으로 조류신호표지, 해양기상신호표지 및 자동위치식별신호표지(AIS)가 있다.

1) 조류신호표지

조류신호표지는 강한 조류가 있는 해협 등에 있어서 조류의 방향, 속도, 전류(轉流)를 측정하여 이들 정보를 등광, 인터넷, 유·무선 방송을 통하여 선박에게 제공하는 것을 말한다.

우리나라에는 인천 2기를 운영 중이며 진도의 1기는 시공 중에 있다. 인천 조류신호 시스템은 2005년부터 유향, 유속, 경향 등의 조류정보와 밀물과 썰물의 부가정보를 전광판, 인터넷 및 ARS을 통해 제공하고 있다. 조류신호시스템은 <Fig. 27 ~ Fig. 30>에 나타난 것과 같이 해당 수도의 조류현황을 센서로 측정하여 조류신호소에서 센서데이터를 유용한 정보로 가공한 후 운영센터로 보내고, 신호소의 조류신호 전광판에 조류정보를 표출한다. 운영센터는 조류정보와 시스템의 운영 상태를 근무자가 관리하고 정보제공매체를 통하여 제공하며 정보를 저장한다. 인천 조류신호 시스템은 갑문과 부도에 조류센서와 조류신호소를 설치하고 운영센터를 운영하고 있다. 조류신호소는 조류데이터의 수집 및 가공, 조류신호 전광판의 표출제어를 위한 장비를 설치하고 무인운영을 위한 보안시설과 원격운영시설을 갖추고 있다.

인천 조류신호소에서는 인천항 갑문 및 부도에서 대형 전광판을 통해 실시간 관측정보를 표출하고 있다. 조류신호정보는 웹 페이지를 통해 매 2분마다 관측지점의 조류정보(유속, 유향, 경향)를 텍스트 위주로 서비스하고 있으며, 문자서비스(SMS) 및 조류정보안내 ARS(032-886-3468)를 통하여 국문 및 영문으로 통화시각의 조류정보(유속 및 경향)를 제공하고 있다(부산지방해양수산청, 2017).

Collection @ kmou

Fig. 27 Current State of Tide & Currents System in Incheon

Fig. 28 Tide & Currents System Operation Center in Incheon

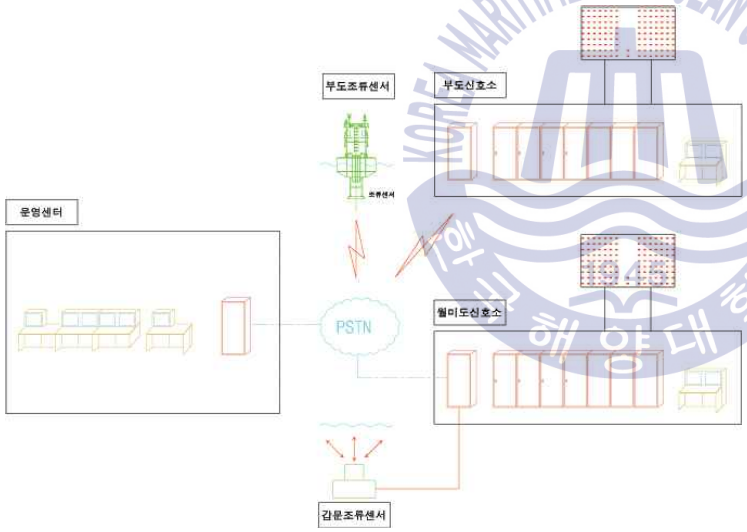


Fig. 29 Tide & Currents System Diagram in Inchoen

Fig. 30 Electronic Display in Incheon

진도 조류시스템은 현재 시공 중에 있다. 진도 조류시스템의 구성과 운용은 <Fig. 31 ~ Fig. 33>과 같으며 인천 조류시스템과 유사하게 설계되었다. 진도 조류신호 시스템은 명량수도와 장죽수도에 조류센서를 설치하고 진도표지관리사

Collection @ kmou

무소의 운영센터와 녹진리신호소에서 조류데이터를 수집 및 가공, 저장하고 전광판을 통해 제공한다. 명량수도의 조류정보는 녹진리신호소와 녹도신호소의 대형 전광판을 통하여 실시간으로 제공하고, 장죽수도의 조류정보는 운영센터에서 인터넷 및 ARS을 통해 제공할 예정이다. 녹진리신호소는 조류데이터를 수집 및 가공하여 운영센터에 전송하고 녹도신호소는 녹진리신호소의 조류정보를 받아 전광판에 표출한다. 진도 조류신호소의 전광판은 인천의 할로겐 전구방식에서 LED전구방식으로 변경되었다. 전광판의 구조와 표시방법은 인천의 전광판과 유사하나, 크기를 1/2로 줄여 하나의 영문 또는 숫자, ↑. ↓를 표시하도록 하였다. 진도 조류신호소에서는 녹진리와 녹도에서 대형 전광판을 통해 실시간 관측정보를 표출하며, 웹 페이지와 조류정보안내 ARS 통하여 조류정보를 제공할 계획이다(부산지방해양수산청, 2017).

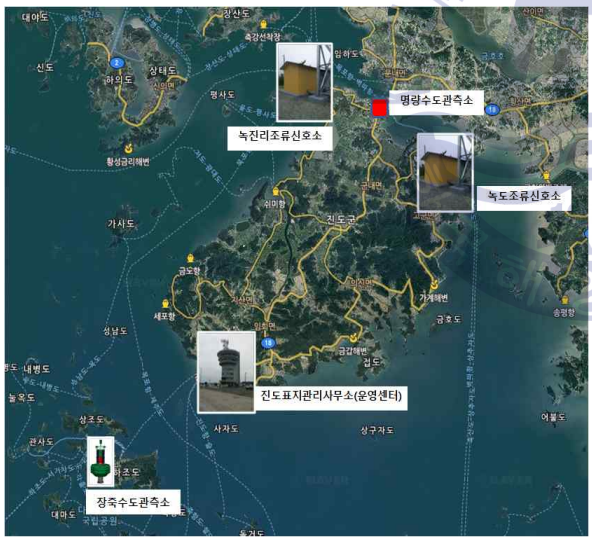


Fig. 31 Current State of Tide & Currents System in Jindo

Fig. 32 Electronic Display in Jindo

Collection @ kmou

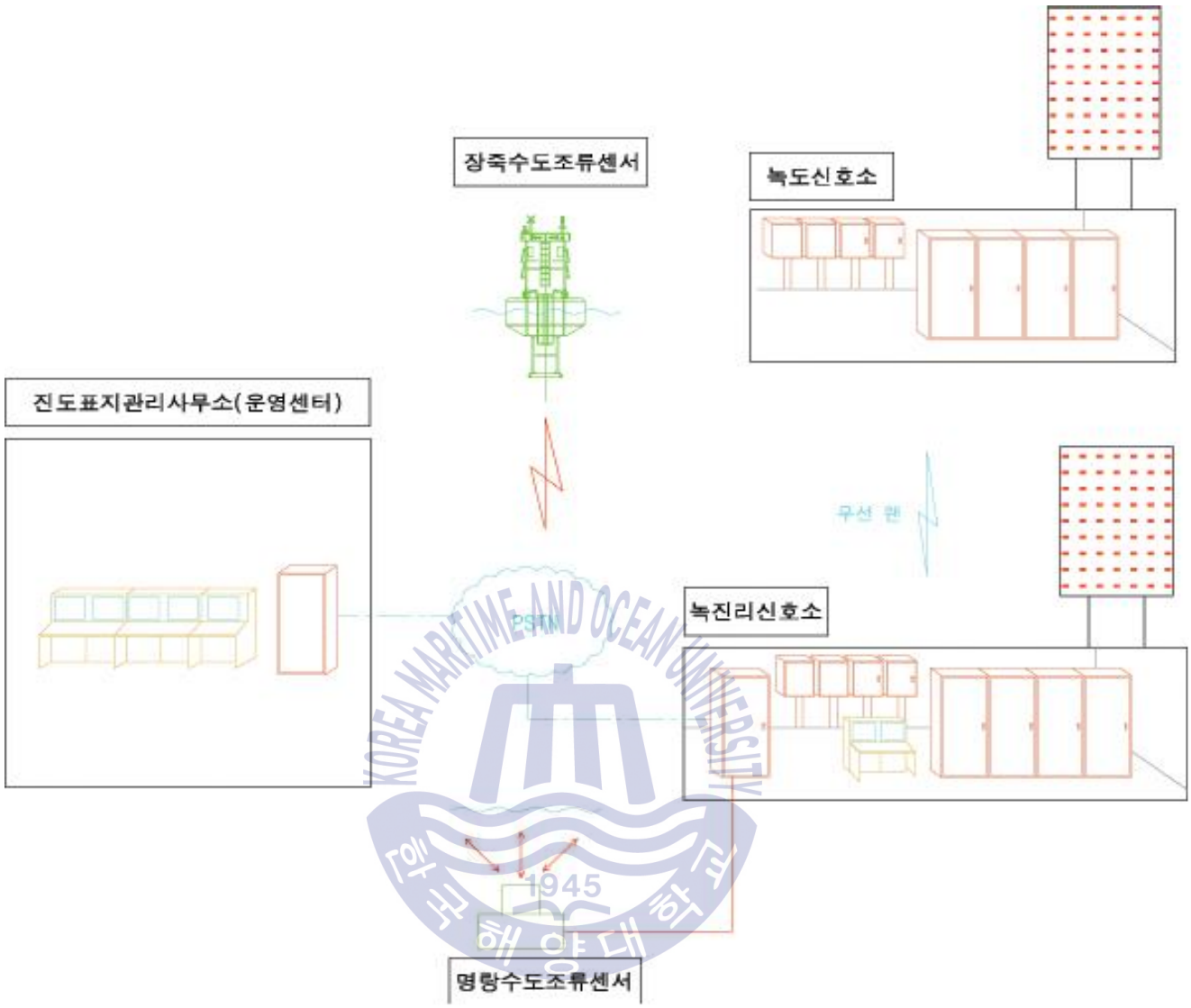


Fig. 33 Tide & Currents System Diagram in Jindo

2) 해양기상신호표지

해양기상정보 제공시스템이란 항만 및 연안 해역의 주요지점의 항로표지시설에 해양기상관측시스템을 구축하여 통합운영센터에서 원격 관리를 수행하며, 해양 사고 방지를 위해 해양기상정보를 실시간 수집하여 전국망을 통해 사용자에게 실시간 안전정보를 제공하는 시스템이다.

<Fig. 34>에 나타난 것과 같이 주요항만 및 연안에 위치한 항로표지(등대 및

Collection @ kmou

등(부)표 등)에서 해양기상을 관측하여 실시간 해양기상정보를 제공함으로써 운항 선박 및 조업어선 등의 해양 교통안전 도모에 활용하고 있다. WEB, ARS, FAX, SMS를 통해 서비스를 제공하고 있으며 유향, 유속, 시정, 기온, 풍향, 풍속, 습도, 파고 등의 해양기상 정보를 통보한다. 해양기상신호 표지는 총 27기를 설치 운영 중이다(국립해양측위정보원, 2018).

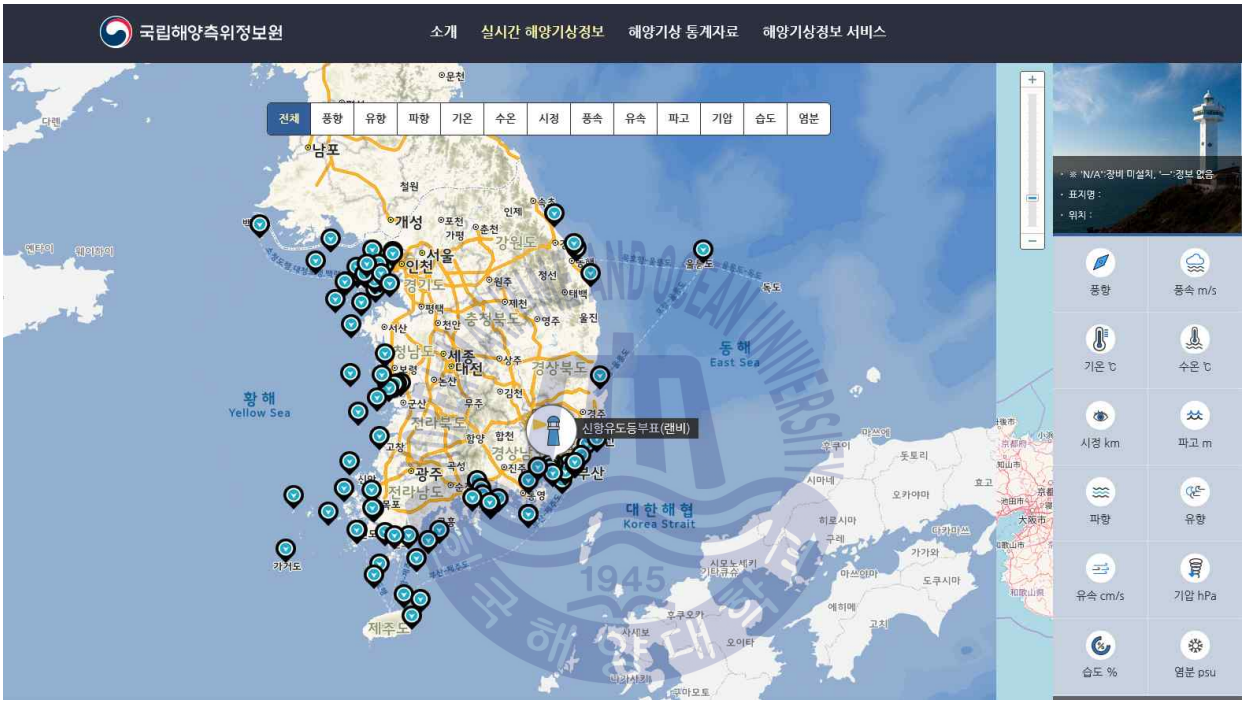


Fig. 34 Real Time Service of Marine Weather Signal

3) 자동위치식별신호표지(AIS)

AIS는 적절한 장비를 갖춘 선박들 간의 운항 정보 교환을 위한 자동화된 자율 시스템으로 27종류의 메시지를 사용하고 2개의 지정 해양 폴 채널에서 운용하는 디지털 통신시스템으로 선박간 충돌 예방, 연안항해의 해상교통관제, 해상구조에 활용되고 있다. 이러한 AIS를 항로표지에 접목시킨 것을 항로표지용 AIS라고 명명하고 있다.

Collection @ kmou

단말장치는 선박용 Class-A, Class-B가 있으며 이후 항로표지용이 추가되었다. <Fig. 35>와 같이 AIS 기술의 핵심은 자율규제에 의한 시분할다중엑세스 프로토콜(Self Organizing Time Division Multiple Access, SOTDMA)이다. 이 프로토콜은 AIS가 자율적이고 지속적으로 운영될 수 있도록 하는 역할을 한다. 한 슬롯에는 위치, 대지속력, 선명, 대지침로, 선수침로, 선회율, 항해정보 등의 정보를 탑재하고 있다.

항로표지용 AIS는 우리나라에서 총 264기를 설치 운영 중이다(해양수산부, 2018).

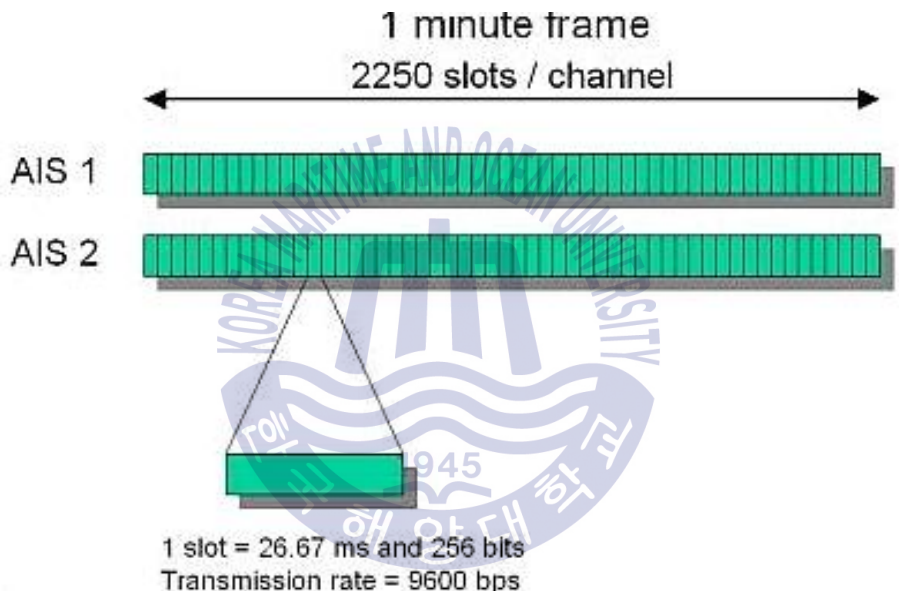


Fig. 35 A one minute SOTDMA time frame of AIS messages from the two AIS channels

Collection @ kmou

2.2 Transit Line 해상교통안전시스템 현황 분석

Transit Line 해상교통안전시스템의 역사와 국내외 현황조사를 수행한 이유는 우리나라의 Transit Line 해상교통안전시스템 운영 역사가 짧은 상황에서 역사와 외국 사례 조사를 통해 본 논문의 깊이 있는 이해가 가능하다고 판단하였다. 조사대상 국가는 최초로 도등을 설치 운영한 영국과 해양선진국인 미국, 호주, 독일, 캐나다로 선정하였으며 설치연도, 설치위치, 등고, 설치목적에 대해 조사하였다.

2.2.1 Transit Line 해상교통안전시스템의 역사

1) Transit Line 해상교통안전시스템의 역사와 기능

1763년 영국 리버풀항에서 최초로 위험한 협수로 및 얕은 수로에 가항수로를 표시하기 위하여 Transit Line 해상교통안전시스템으로서 두 개의 등표를 설치하고 운영하였다.

Transit Line 해상교통안전시스템은 두 개 또는 그 이상의 항로표지를 일직선상에 배열하여 변침점을 제공하고, 가항수역을 명확하게 표시하고 수로의 거리를 표시하고 항로 이탈 거리와 방향을 제공하는 등의 기능을 한다. 두 개의 항로표지 또는 등광이 동시에 보이기 위해서 뒤에 있는 구조물은 앞에 있는 구조물보다 등고가 더 높아야 된다. (NAVGUIDE, 2018). <Fig. 36>은 Transit Line 제공을 통해 부산항북항의 안전한 입항을 지원하는 도등을 나타낸다.

Fig. 36 Leading Lights of Busan Port(North)

Collection @ kmou

2) Transit Line 해상교통안전시스템의 유형

가) 주간표지 종류

USCG에서는 Transit Line 해상교통시스템의 12개의 주간표지를 지정하고 사용하고 있다. 주간표지가 없는 Transit Line 해상교통시스템의 경우 24시간동안 등화를 밝혀야 된다고 규정하고 있다(U.S. AIDS TO NAVIGATION SYSTEM, 2018). 우리나라에서는 주로 KRW 형식의 주간표지를 이용하고 있다. <Fig. 37 참조>

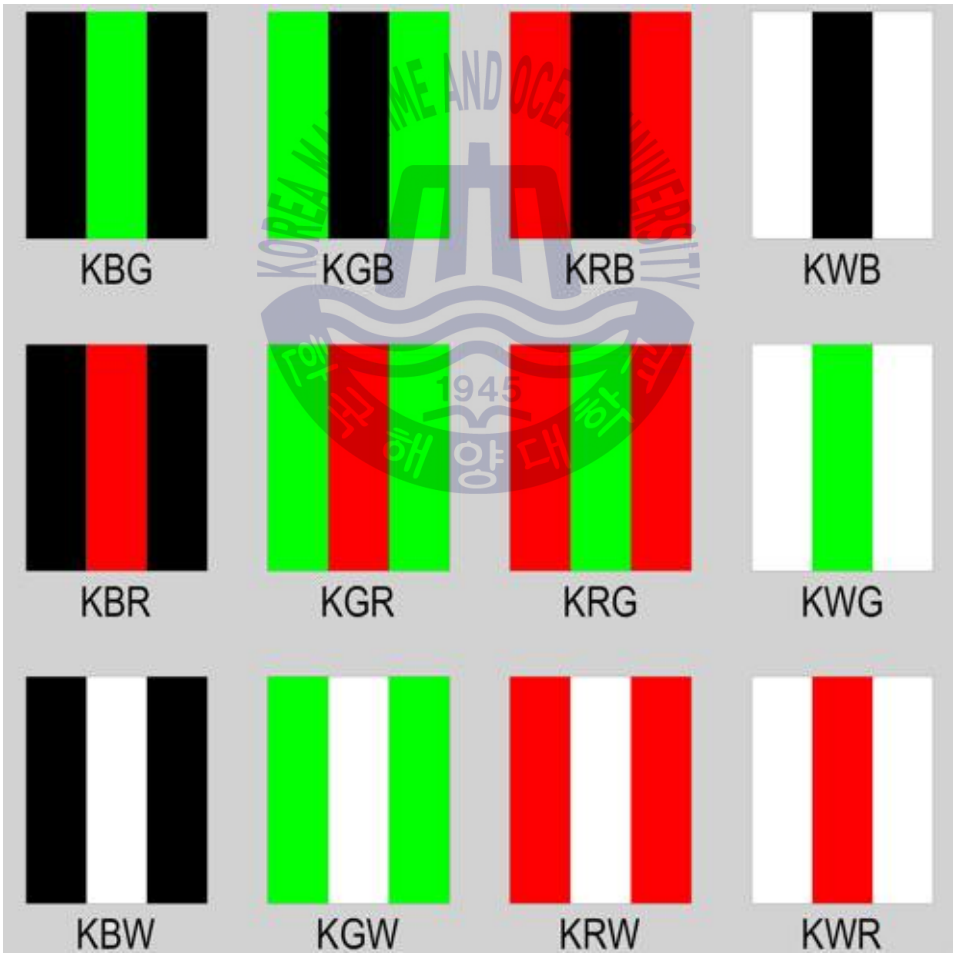


Fig. 37 The Twelve Standard Dayboards Used on USCG Ranges

Collection @ kmou

나) 구조형식

(1) 사각지주 L형강 철탑구조

<Fig. 38>과 같이 사각지주 L형강 철탑구조는 부산항도등 및 포항신항도등과 같은 형식이며 경제성이 좋고 유지관리가 용이한 장점이 있으나 높이가 높아질수록 기초 폭이 대형화되고 철탑의 빈공간이 많아 철탑의 시인성은 낮은 편이다.

Fig. 38 L Angle Steel Tower

Collection @ kmou

(2) Steel Pole 39 구조

Steel Pole 구조는<Fig. 39>와 같으며 부산항신항송도 도등에 적용되다. 경제성과 유지보수의 용이성은 보통이나 기초 폭이 최소로 용지 확보가 우수하며 볼트조립식으로 시공성이 양호하다. 선 구조로 철탑의 시인성은 낮은 편이다.

Fig. 39 Steel Pole

Collection @ kmou

(3) 철근 콘크리트 구조

철근 콘크리트 구조 <Fig. 30>는 강원도 고성 저진 도등에 적용되었으며 철골 구조보다 공사비와 공사기간이 길어지는 단점이 있으나 면구조로 시인성이 좋고 풍력에 대한 저항력이 우수하다.

Fig. 40 Reinforced Concrete Construction

Collection @ kmou

2.2.2 Transit Line 해상교통안전시스템 국내외 현황

1) Transit Line 해상교통안전시스템 국내 현황

동해권역에 설치되어 있는 도등은 <Table 5>와 같이 부산청 5개소, 포항청 2개소(지향등 1개소), 동해청 2개소 등 총 9개소로서 주요 항만 및 항로를 통항하는 선박의 항로 중시선을 표시하거나 어로 한계선 끝단 등을 표시하기 위해 설치 운영 중이다. 총 9개소의 도등 설치년도 분석결과 저진도등이 어선을 위한 북방한계선을 표시하기 위하여 가장 먼저 설치되었다.

Table 5 Current State of East Sea Zone

Div.	Name	Location of Front Leading Light (WGS-84)	Location of Rear Leading Light (WGS-84)	Year of Installation
Busan	Gamcheon Port Leading Light	35-03.70N 128-59.62E	35-03.99N 128-59.26	2011.1.
	Busan New Port(Inner) Leaing Light	35-04.97N 128-49.68E	35-05.12N 128-50.02E	2007.7.
	Busan New Port Songdo leading Light	35-04.46N 128-46.10E	35-04.46N 128-46.05E	2010.3.
	Busan New Port Leading Light	35-04.66N 128-46.07E	35-05.77N 128-45.56E	2006.6.
	Busan Port Leading Light	35-07.67N 129-01.55E	35-07.98N 129-01.02E	2014.6
Pohang	Pohang New Port Leading Light	36-01.26N 129-25.43E	36-00.90N 129-24.66E	1998.9.
Donghae	Jeojin Leading Light	38-33.16N 128-24.50E	38-33.16N 128-24.50E	1991.8.
	Jeodo Leading Light	38-24.16N 128-23.52E	38-24.16N 128-23.11E	2012.9.
Incheon	Yeonpyeongdo Port Leading Light	37-39.48N 125-42.82E	37-39.55N 125-42.77E	2013.5.

Collection @ kmou

가) 부산지방해양수산청 도등

(1) 감천항도등

감천항도등은 <Fig. 41> 및 <Fig. 42>와 같이 감천항을 입출항하는 대형 컨테이너 선박, 중소형 화물선이 감천항 입구 협수로를 안전하게 통항유도하기 위하여 2011년 1월 설치된 항로표지로서 선박의 안전항 입항에 기여하고 있다.

1978년 감천항개발 기본계획에 의거 최초 설치되었으며 2006년도 도등의 기능개선을 위한 설계 후 2011년에 이설 및 등고 조정 등 감천항도등 개량공사를 완료하여 현재까지 운영 중이다.

감천항도등은 <Table 6>과 같이 전도등(등탑 : 101m, 등고 : 106m, 등광 : 녹색, 광도 : 699,308 cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 23M), 후도등(등탑 : 39m, 등고 : 163m, 등광 : 녹색, 광도 : 699,308cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 23M)으로 설치되어 있다.

Table 6 General Status of Gamcheon Port Leading Lights

Name	Location	Elevation of Tower	Elevation (m)	Intensity (cd)	Visibility (NM)	Char.	Lantern
Gamcheon Port Leading Light (Front)	35-03.70N 128-59.62E	101	106	699,308	23	FG	LED
Gamcheon Port Leading Light (Rear)	35-03.99N 128-59.26	39	163	699,308	23	FG	LED

Collection @ kmou

Fig. 41 View of Gamcheon Harbour Leading Lights

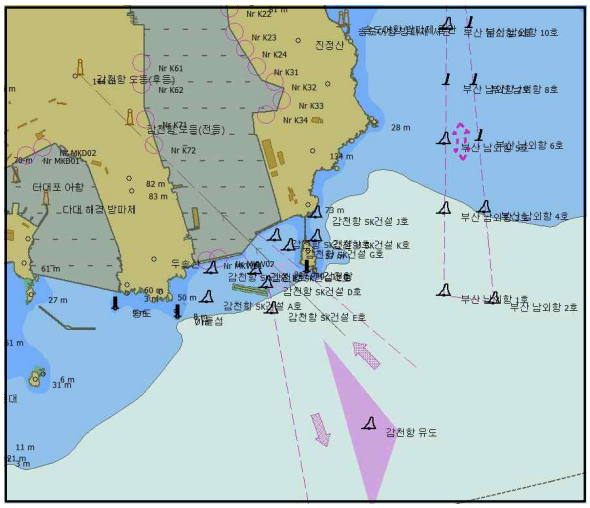


Fig. 42 Location of Gamcheon Harbour Leading Lights

감천항도등의 서비스구역은 <Fig. 7>과 같이 감천항 유도등부표에서 감천항 동방파제와 감천항 서방파제사이로 입항하는 선박에게 항로의 항로 중시선을 표시하는 것으로서, 설계 값은 <Table 7>에 나타난 것과 같이 방파제 입구에서 1,590m 지점, 전도등으로 부터는 3,420m 지점 서비스구역 길이이며 항로이며 항로폭은 278m이다. 전도등과 후도등의 거리는 766m이다.

Table 7 Design Data of Gamcheon Leading Lights

Div.	Design Value
Channel Length	1,590m
Channel Width	278m
Mean Sea Level	DL.(+) 64.9cm
Background Lighting	None
Minimum Visibility	7.5NM
Design Visibility	10NM
Maximum Visibility	20NM
Distance between FL & RL	766m
Distance FL to near end	3,420m

Collection @ kmou

감천항도등의 설계 값과 주변 환경 조건을 입력하고 IALA 도등 설계프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 시행한 결과 <Fig. 43>과 같이 권고사항이 도출되었다. 항로상에서 이용자가 항로의 중시선을 확실하게 인지할 수 있음을 표시하는 민감도 즉, 수직이탈 거리비(Cross Track Factor)가 안고 8m 일 때 26%, 안고 15m 일 때 27%, 안고 23m 일 때 27%로 IALA 지침 기준의 "좋음(Good, 20%~30%)" 에 해당하고 전도등 야간광도 745cd, 후도등 야간광도 1,177cd로 운영 중인 광도는 이보다 더 밝은 699,308cd이므로 감천항도등은 이용선박, 항로여건 등이 고려되어 적절히 설치 운영 중인 것으로 판단된다.

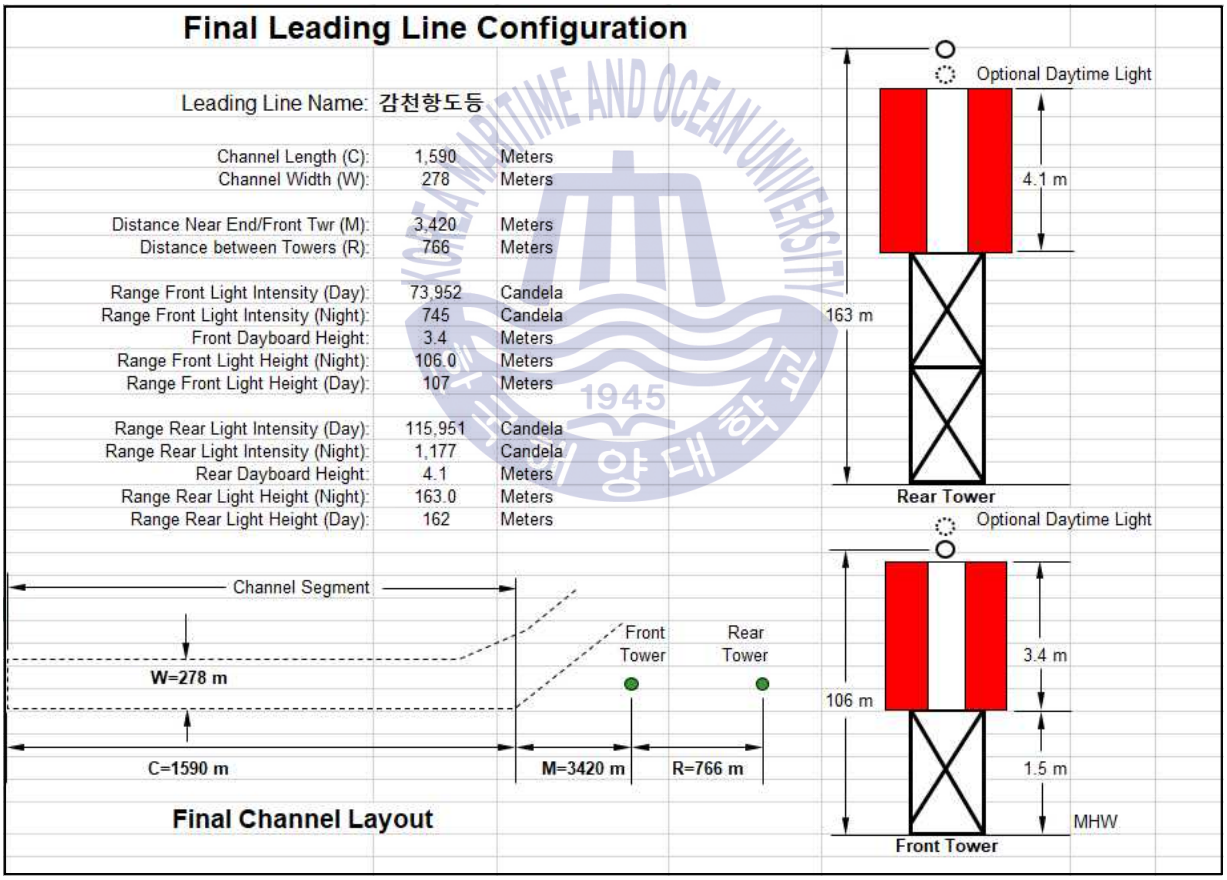


Fig. 43 Result of Simulation (Gamcheon Harbour Leading Lights)

Collection @ kmou

(2) 부산신항내항도등

부산신항내항도등은 부산신항을 이용하는 대형 컨테이너 선박이 부산신항내항 항로를 통항하여 부산신항을 입항할 때 호란도와 부산신항서방파제 사이에서 62° 변침을 하는 지점의 주요 변침점을 표시하고 선박을 안전하게 부두까지 유도하기 위하여 설치된 항로표지로서 선박의 안전한 입항에 기여하고 있다.

Fig. 44 View of Busan New Port

부산신항내항도등은 <Fig. 45> 및 <Fig. 46>과 같이 부산항신항 개항(2006년)에 따른 선박안전운항 및 해양환경보호를 위하여 2007년 설치공사를 완료하여 현재까지 운영 중이다. <Fig. 44 참조>

부산신항내항도등은 <Table 8>과 같이 전도등(등탑 : 101m, 등고 : 104m, 등광 : 녹색, 광도 : 705,649cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 39M), 후도등(등탑 : 101m, 등고 : 146m, 등광 : 녹색, 광도 : 705,649cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 39M)으로 설치되어 있다.

Collection @ kmou

Table 8 General Status of Busan New Port(Inner)

Name	Location	Elevation of Tower	Elevation (m)	Intensity (cd)	Visibility (NM)	Char.	Lantern
Busan New Port(Inner) Leading Light(Front)	35-04.97N 128-49.68E	101	104	705,649	39	FG	LED 3X5m
Busan New Port(Inner) Leading Light(Rear)	35-05.12N 128-50.02E	101	146	704,649	39	FG	LED 3X5m

Fig. 45 View of Busan New Port(Inner) Front Lights

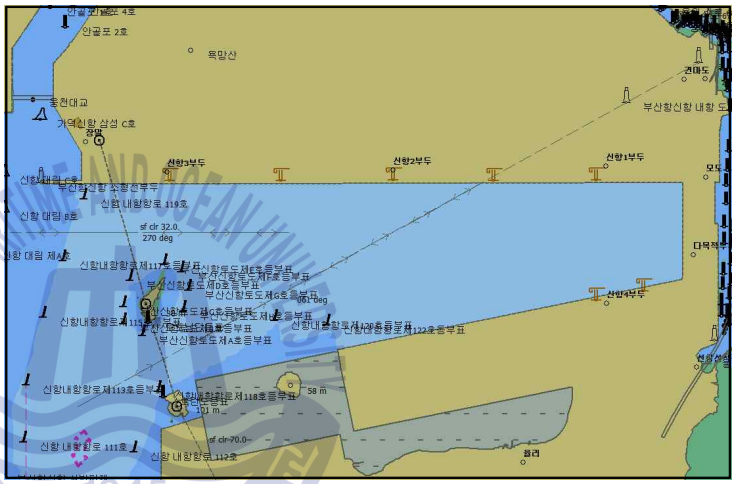


Fig. 46 Location of Busan New Port(Inner) Leading Lights

부산신항내항도등의 서비스구역은 부산신항내항 항로를 입항하는 선박 기준으로 주요 변침점인 호란도 서측 700m지점부터 내항 북컨테이너부두 방향 일직선으로 이어지는 항로로서, 설계 값은 <Table 9>과 같이 전도등에서 2,000m 지점부터 4,527m 지점까지 2,527m 거리의 항로이며 항로폭은 280m이다. 전도등과 후도등의 거리는 591m이다.

Collection @ kmou

Table 9 Design Data of Busan New Port(Inner) Leading Lights

Div.	Design Value
Channel Length	2,527m
Channel Width	280m
Mean Sea Level	DL.(+) 0.95m
Background Lighting	None
Minimum Visibility	7.5NM
Design Visibility	10NM
Maximum Visibility	20NM
Distance between FL & RL	591m
Distance FL to near end	2,000m

부산항신항내항도등의 설계 값과 주변 환경 조건을 입력하고 IALA 도등 설계 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 시행한 결과 <Fig. 47>과 같이 권고사항이 도출되었다. 항로상에서 이용자가 항로의 중시선을 확실하게 인지할 수 있음을 표시하는 민감도 즉, 수직이탈 거리비(Cross Track Factor)가 안고 8m 일 때 23%, 안고 15m 일 때 24%, 안고 23m 일 때 24%로 IALA 지침 기준의 “좋음(Good, 20%~30%)” 에 해당하고 전도등 야간광도 549cd, 후도등 야간광도 843cd로 운영 중인 광도는 이보다 더 밝은 705,649cd이므로 도등은 이용선박, 항로여건 등이 고려되어 적절히 설치 운영 중인 것으로 판단된다.

Collection @ kmou

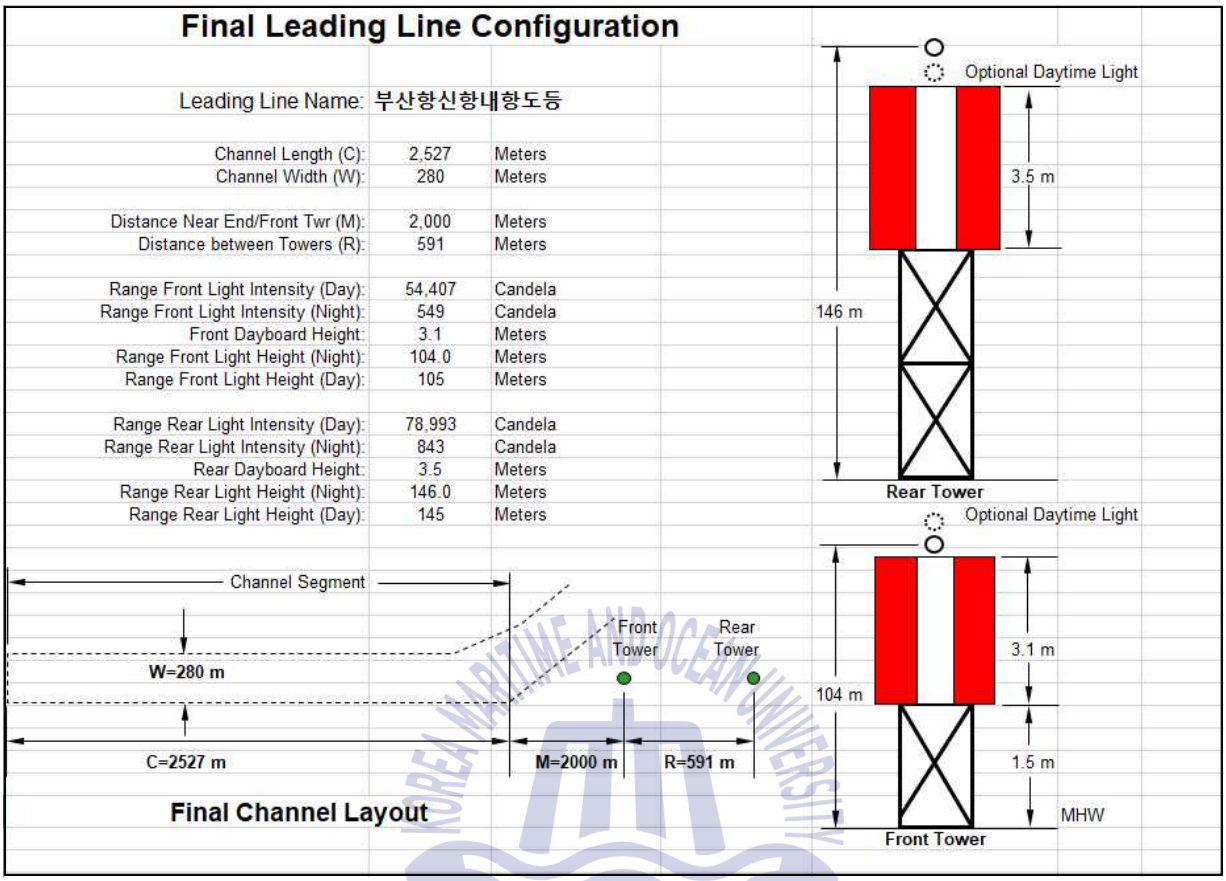


Fig. 47 Result of Simulation (Busan New Port(Inner) Leading Lights)

(3) 부산신항송도도등

부산신항송도도등은 북측 한진해운 부두와 토도까지 거리가 580m, 북측부두와 남측부두 사이의 가항 거리가 600m 밖에 되지 않아 8,000TEU급(선체길이 339m, 폭 45m) 이상의 대형 컨테이너선들이 부두에 이접안할 경우 항로폭이 협소하여 항시 안전사고 위험이 있으므로 중시선 표시와 거리와 방위를 나타내기 위하여 <Fig. 48>과 <Fig. 49>와 같이 설치되었다.

부산신항송도도등은 <Table 10>과 같이 전도등(등탑 : 36m, 등고 : 41m, 등광 : 녹색, 광도 : 538,000cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 23M), 후도등(등탑 : 8m, 등고 : 58.8m, 등광 : 녹색, 광도 : 538,000cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 23M)으로 설치되어 있다.

Collection @ kmou

Table 10 General Status of Busan New Port Songdo Leading Lights

Name	Location	Elevation of Tower	Elevation (m)	Intensity (cd)	Visibility (NM)	Char.	Lantern
Busan New Port Songdo Leading Light(Front)	35-04.46N 128-46.10E	36	41.5	538,000	23	FG	LED
Busan New Port Songdo Leading Light(Rear)	35-04.46N 128-46.05E	8	58.8	538,000	23	FG	LED

Fig. 48 View of Busan New Port Songdo Leading Lights

Fig. 49 Location of Busan New Port Songdo Leading Lights

부산신항송도도등의 서비스구역은 북컨테이너부두와 남컨테이너부두를 이용하는 대형 컨테이너선이 토도를 피하여 출항하는 항로 및 선회 가능한 지점으로 설계 값은 <Table 11>과 같이 토도 정상(30m)에서 61.6° 방향 1,142m 지점부터 토도 정상(30m)에서 314° 방향 782m지점으로 일직선으로 이어지는 항로 1,570m 구간이며 항로폭은 350m이다.

Collection @ kmou

Table 11 Design Data of Busan New Port Songdo Leading Lights

Div.	Design Value
Channel Length	1,570m
Channel Width	350m
Mean Sea Level	DL.(+) 0.95m
Background Lighting	None
Minimum Visibility	7.5NM
Design Visibility	10NM
Maximum Visibility	20NM
Distance between FL & RL	63m
Distance FL to near end	1,415m

부산항신항송도도등의 설계 값과 주변 환경 조건을 입력하고 IALA 도등 설계 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 시행한 결과 <Fig. 50>과 같이 권고사항이 도출되었다. 항로상에서 이용자가 항로의 중시선을 확실하게 인지할 수 있음을 표시하는 민감도 즉, 수직이탈 거리비(Cross Track Factor)가 안고 8m 일 때 66%, 안고 15m 일 때 66%, 안고 23m 일 때 67%로 IALA 지침 기준의 “나쁨(Poor, 50%~75%)” 에 해당하고 전도등 야간광도 175cd, 후도등 야간광도 187cd로 운영 중인 광도는 이보다 더 밝은 538,000cd이므로 부산항신항내항도등은 이용선박, 항로여건 등이 고려되어 적절히 설치 운영 중인 것으로 판단된다.

Collection @ kmou

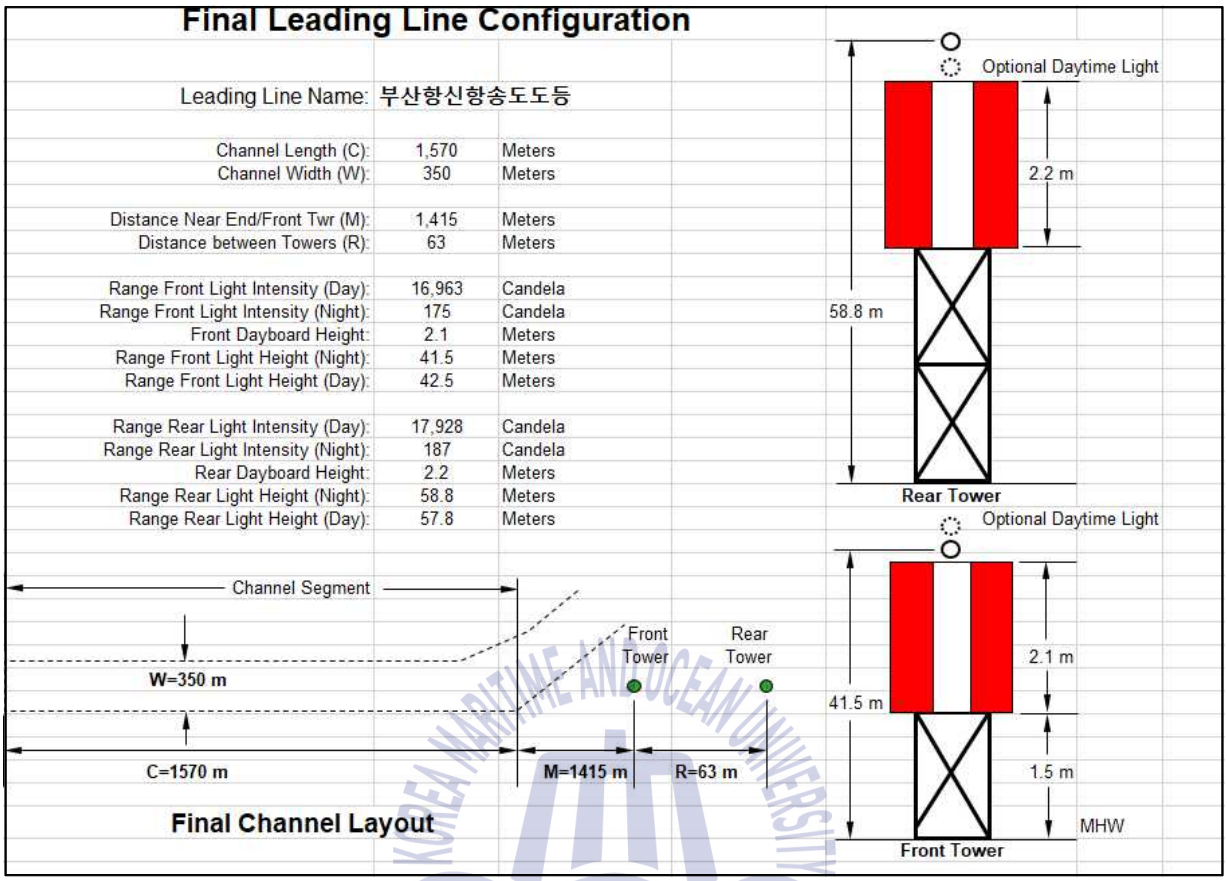


Fig. 50 Result of Simulation (Busan New Port Songdo Leading Lights)

(4) 부산신항도등

부산신항도등은 <Fig. 51>,과 <Fig. 52>와 같이 2006년 개장한 부산신항 입구에 선박의 안전한 입항 유도를 및 항로 중시선을 명확히 표시하기 위하여 설치된 항로표지로서 신항 입구에서 12km 가량 떨어진 가덕수도 남방 신항 진입항로 시작지점부터 이용가능하다.

신항에 진입하려는 선박이 항로를 쉽게 인지할 수 있고 안전항로를 유지하여 진입할 수 있으므로 선박안전운항에 기여하고 있다.

부산신항도등은 <Table 12>과 같이 전도등(등탑 : 101m, 등고 : 106m, 등광 : 녹색, 광도 : 643,822cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 39M), 후도등(등탑 :

Collection @ kmou

101m, 등고 : 195m, 등광 : 녹색, 광도 : 643,822cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 39M)으로 설치되어 있다.

Table 12 General Status of Busan New Port Leading Lights

Name	Location	Elevation of Tower	Elevation (m)	Intensity (cd)	Visibility (NM)	Char.	Lantern
Busan New Port Leading Light(Front)	35-04.66N 128-46.07E	101	106	643,822	39	FG	LED 3X5m
Busan New Port Leading Light(Rear)	35-05.77N 128-45.56E	101	195	643,822	39	FG	LED 3X5m

Fig. 51 View of Busan New Port Leading Lights

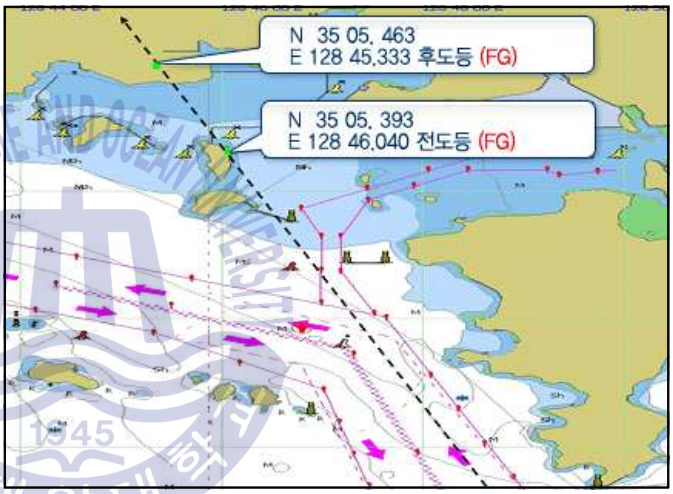


Fig. 52 Location of Busan New Port Leading Lights

부산항신항도등의 서비스구역은 가덕수도에서 부산신항파제제 부근까지의 일직선으로서 이어지는 항로로서 설계 값은 <Table 13>과 같이 서비스구역의 길이는 8,000m이며 항로폭은 900m이다.

Collection @ kmou

Table 13 Design Data of Busan New Port Leading Lights

Div.	Design Value
Channel Length	8,000m
Channel Width	900m
Mean Sea Level	DL.(+) 0.95m
Background Lighting	None
Minimum Visibility	7.5NM
Design Visibility	10NM
Maximum Visibility	20NM
Distance between FL & RL	2,220m
Distance FL to near end	3,850m

부산항신항도등의 설계 값과 주변 환경 조건을 입력하고 IALA 도등 설계프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 시행한 결과 <Fig. 53>과 같이 권고사항이 도출되었다. 항로상에서 이용자가 항로의 중시선을 확실하게 인지할 수 있음을 표시하는 민감도 즉, 수직이탈 거리비(Cross Track Factor)가 안고 8m 일 때 12%, 안고 15m 일 때 12%, 안고 23m 일 때 13%로 IALA 지침 기준의 “아주 좋음(Excellent, 10%~15%)” 에 해당하고 전도등 야간광도 18,093cd, 후도등 야간광도 42,636cd로 운영 중인 광도는 이보다 더 높은 643,822cd이므로 부산항신항내항도등은 이용선박, 항로여건 등이 고려되어 적절히 설치 운영 중인 것으로 판단된다.

Collection @ kmou

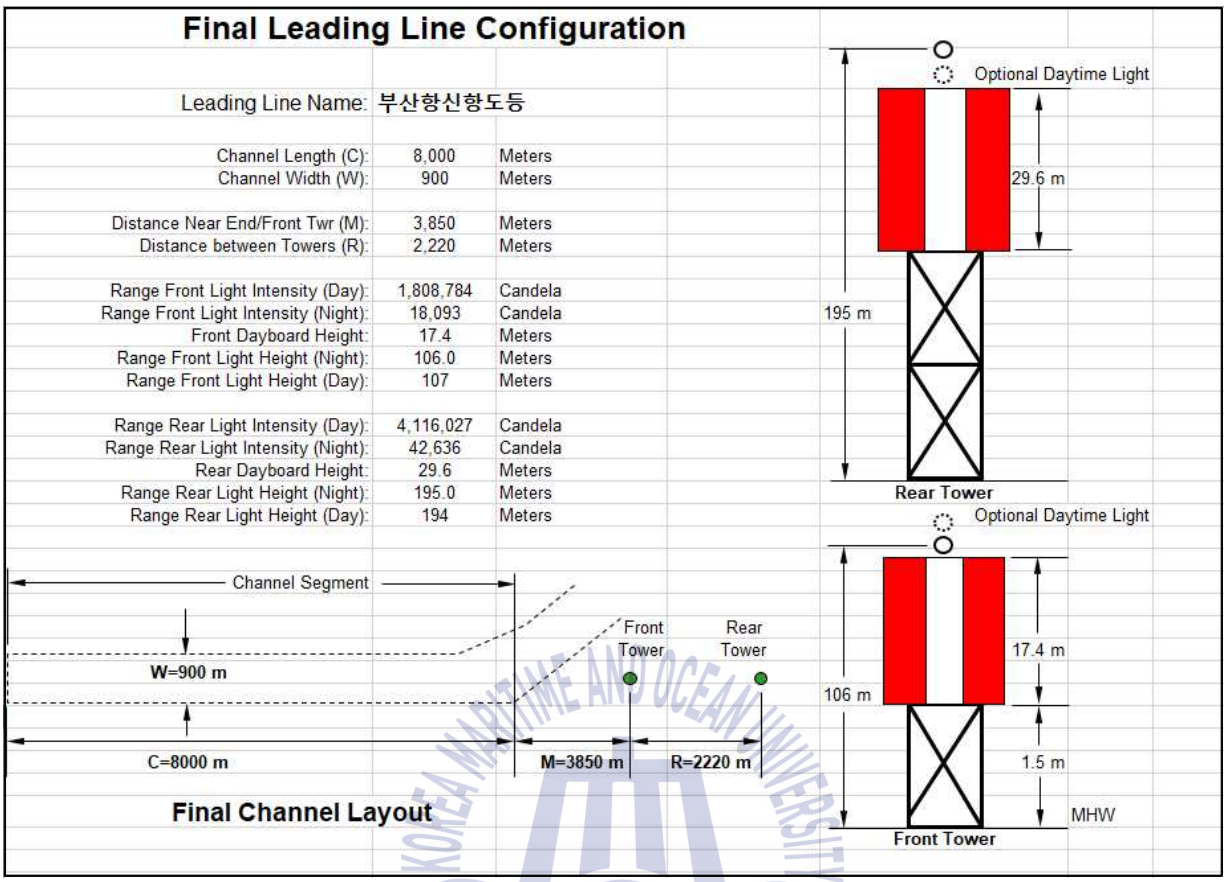


Fig. 53 Result of Simulation (Busan New Port Leading Lights)

(5) 부산항도등

부산항도등은 <Fig. 54>와 같이 부산항 북항 입항선박의 정확한 항로 유지 및 신설된 북항대교로 인해 북항 입항선박의 안전운항에 지장을 초래할 우려가 있어 설치된 항로표지이다.

부산항도등은 <Table 14>와 같이 전도등(등탑 : 36m, 등고 : 363.5m, 등광 : 녹색, 광도 : 922,009cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 25M), 후도등(등탑 : 56m, 등고 : 458.5m, 등광 : 녹색, 광도 : 922,009cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 25M)으로 설치되어 있다.

Collection @ kmou

Table 14 General Status of Busan Port(North) Leading Lights

Name	Location	Elevation of Tower	Elevation (m)	Intensity (cd)	Visibility (NM)	Char.	Lantern
Busan Port Leading Light (Front)	35-07.67N 129-01.55E	36	363.5	922,009	25	FG	LED
Busan Port Leading Light (Rear)	35-07.98N 129-01.02E	56	458.5	922,009	25	FG	LED

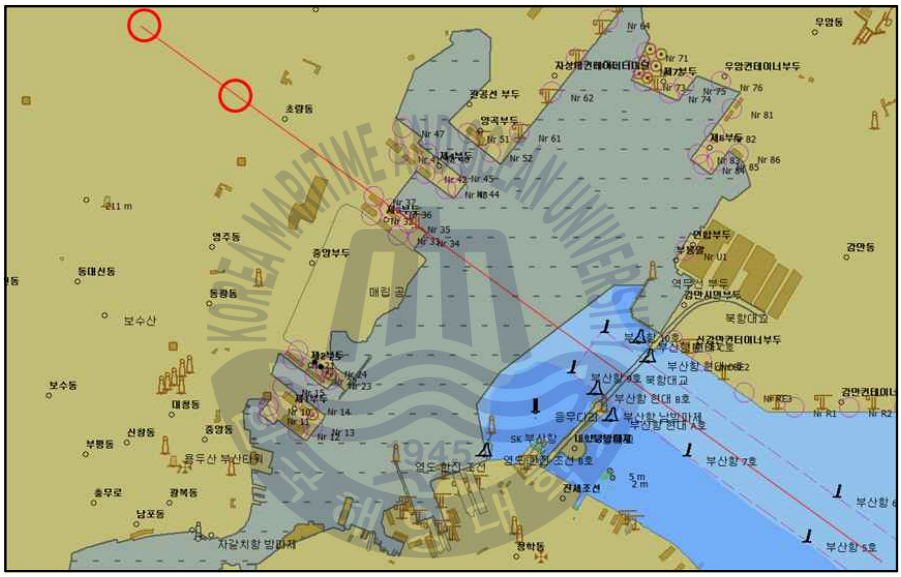


Fig. 54 Location of Busan Port(North) Leading Lights

부산항도등의 서비스구역은 1항로 전체 구간으로 설계 값은 <Table 15>와 같이 항로구간이 약 5,546m이고 항로 폭은 333m이다.

Collection @ kmou

Table 15 Design Data of Busan Port(North) Leading Lights

Div.	Design Value
Channel Length	5,546m
Channel Width	333m
Mean Sea Level	DL.(+) 0.95m
Background Lighting	None
Minimum Visibility	7.5NM
Design Visibility	10NM
Maximum Visibility	20NM
Distance between FL & RL	997m
Distance FL to near end	4,017m

부산항도등의 설계 값과 주변 환경 조건을 입력하고 IALA 도등 설계프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 시행한 결과 <Fig. 55>과 같이 권고사항이 도출되었다. 항로상에서 이용자가 항로의 중시선을 확실하게 인지할 수 있음을 표시하는 민감도 즉, 수직이탈 거리비(Cross Track Factor)가 안고 8m 일 때 49%, 안고 15m 일 때 49%, 안고 23m 일 때 49%로 IALA 지침 기준의 "보통(Fair, 30%~50%)" 에 해당하고 전도등 야간광도 7,200cd, 후도등 야간광도 11,126cd로 운영중인 광도는 이보다 더 높은 922,009cd이므로 부산항도등은 이용선박, 항로여건 등이 고려되어 적절히 설치 운영 중인 것으로 판단된다.

Collection @ kmou

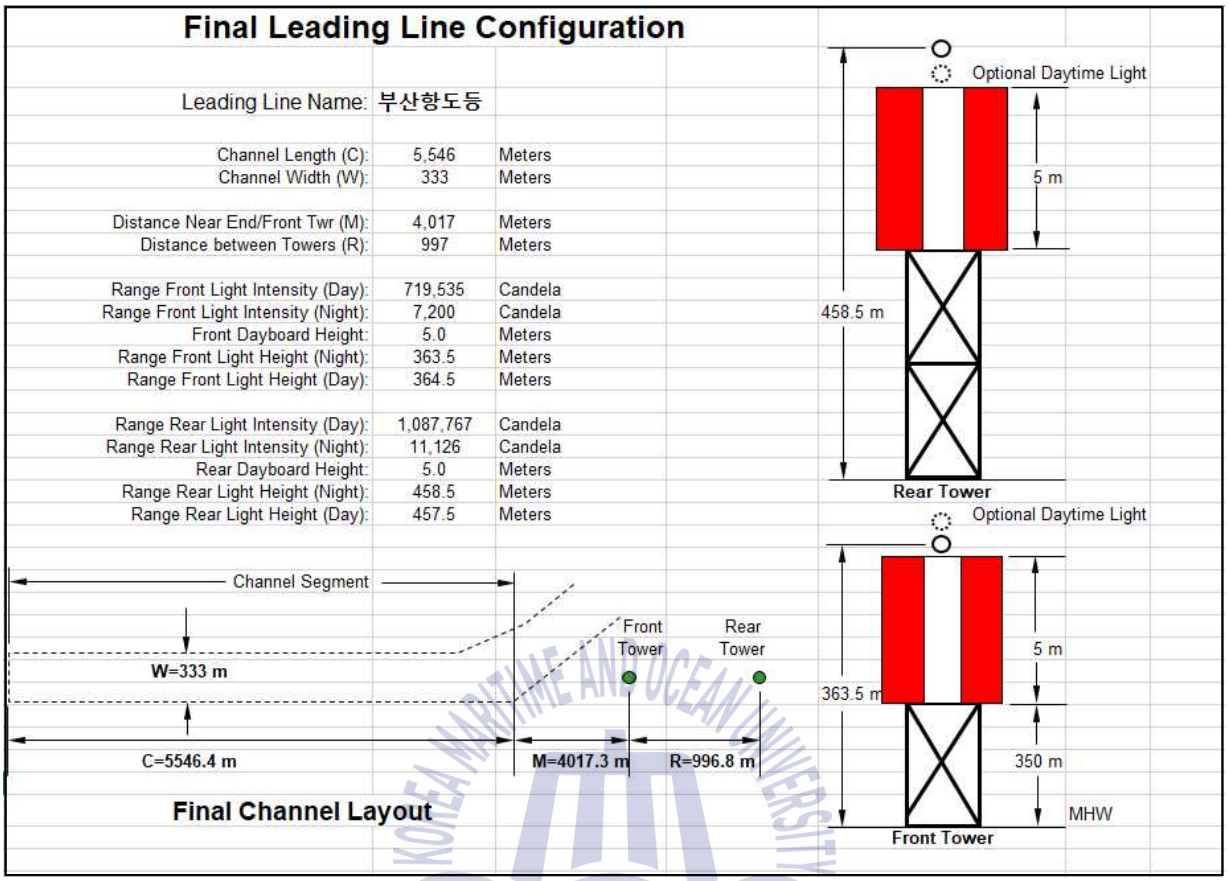


Fig. 55 Result of Simulation (Busan Port(North) Leading Lights)

나) 포항지방해양수산청 도등

(1) 포항신항도등

포항신항도등은 <Fig. 56>과 같이 포항신항 입항선박의 안전한 유도를 위하여 1997년 설치된 항로표지 시설이다.

포항신항도등은 <Table 16>과 같이 전도등(등탑 : 30m, 등고 : 35m, 등광 : 녹색, 광도 : 28,000cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 14M), 후도등(등탑 : 70m, 등고 : 73m, 등광 : 녹색, 광도 : 28,000cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 14M)으로 설치되어 있다.

Collection @ kmou

Table 16 General Status of Pohang New Port Leading Lights

Name	Location	Elevation of Tower	Elevation (m)	Intensity (cd)	Visibility (NM)	Char.	Lantern
Pohang New Port Leading Light(Front)	36-01.26N 129-25.43E	30	35	28,000	14	FG	FA-240
Pohang New Port Leading Light(Rear)	36-00.90N 129-24.66E	70	73	28,000	14	FG	FA-240

Fig. 56 View of Pohang New Port Leading Lights

포항신항의 서비스구역은 영일만 입구측에서 포항신항 방향 남서쪽으로 진행하다 포항신항 분리항로A호등부표를 지나 포항신항5호등부표까지로 설계 값은 <Table 17>과 같이 서비스 구역의 길이는 4,510m이며 가장 좁은 구간의 항로폭은 290m이다.

Collection @ kmou

Table 17 Design Data of Pohang New Port Leading Lights

Div.	Design Value
Channel Length	4,510m
Channel Width	290m
Mean Sea Level	DL.(+) 0.12m
Background Lighting	None
Minimum Visibility	7.5NM
Design Visibility	10NM
Maximum Visibility	20NM
Distance between FL & RL	1,300m
Distance FL to near end	1,130m

포항신항도등의 설계 값과 주변 환경 조건을 입력하고 IALA 도등 설계프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 시행한 결과 <Fig. 57>과 같이 권고사항이 도출되었다. 항로상에서 이용자가 항로의 중시선을 확실하게 인지할 수 있음을 표시하는 민감도 즉, 수직이탈 거리비(Cross Track Factor)가 안고 8m 일 때 15%, 안고 15m 일 때 15%, 안고 23m 일 때 16%로 IALA 지침 기준의 “아주 좋음(Very Good, 15%~20%)” 에 해당하고 전도등 야간광도 1,079cd, 후도등 야간광도 2,550cd로 운영 중인 광도는 이보다 더 높은 28,000cd이므로 포항신항도등은 이용선박, 항로여건 등이 고려되어 적절히 설치 운영 중인 것으로 판단된다.

Collection @ kmou

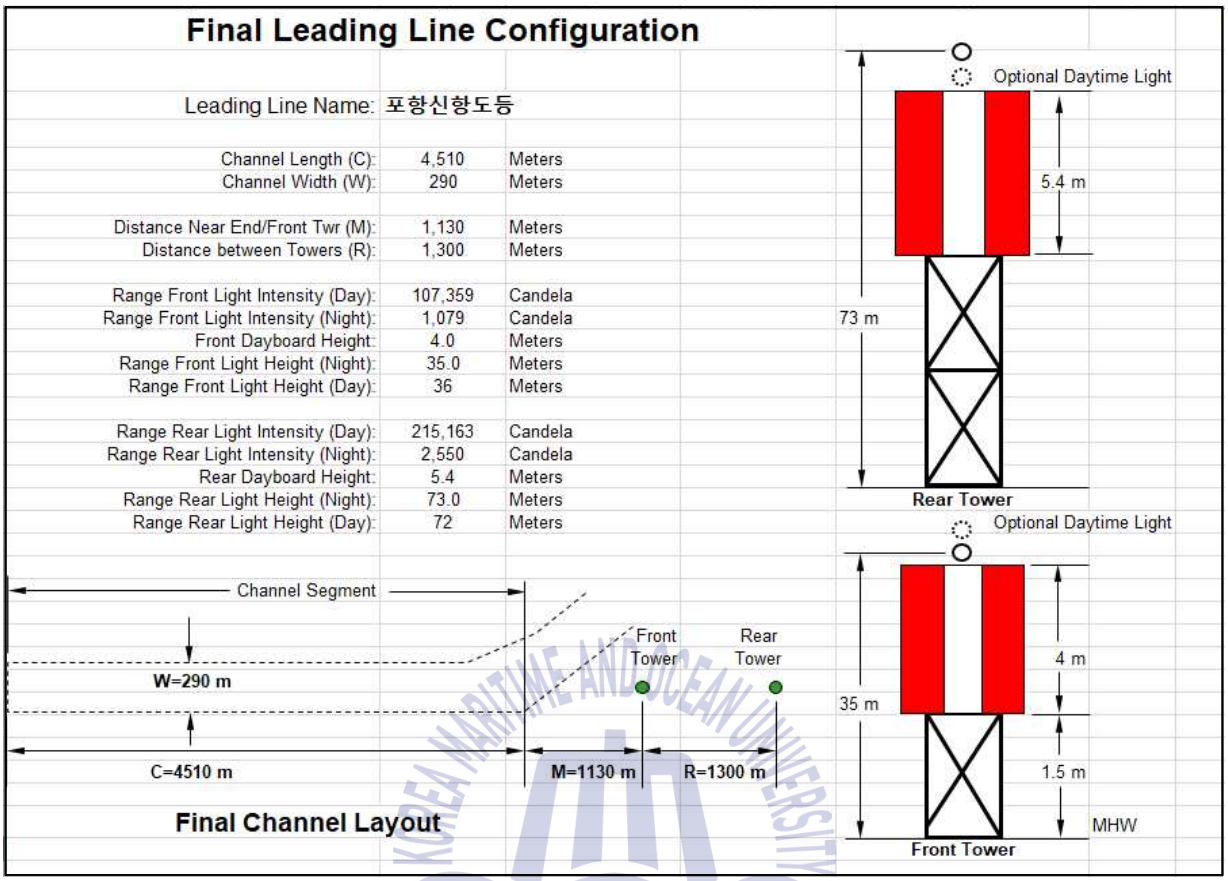


Fig. 57 Result of Simulation (Pohang New Port Leading Lights)

다) 동해지방해양수산청 도등

(1) 저진도등

저진전도등은 <Table 18>과 같이 (등탑 : 35m, 등고 : 62m, 등광 : 백색부동등, 광도 : 870,000cd, 등질 : FW, 명목적광달거리 : 39M), 후도등(등탑 : 20m, 등고 : 115m, 등광 : 백색, 광도 : 870,000cd, 등질 : FW, 명목적광달거리 : 39M)으로 설치되어 있다.

Collection @ kmou

Table 18 General Status of Jeojin Leading Lights

Name	Location	Elevation of Tower	Elevation (m)	Intensity (cd)	Visibility (NM)	Char.	Lantern
Jeojin Leading Light(Front)	38-33.16N 128-24.50E	35	62	870,000	39	FW	RL-355
Jeojin Leading Light(Rear)	38-33.16N 128-24.50E	20	115	870,000	39	FW	RL-355

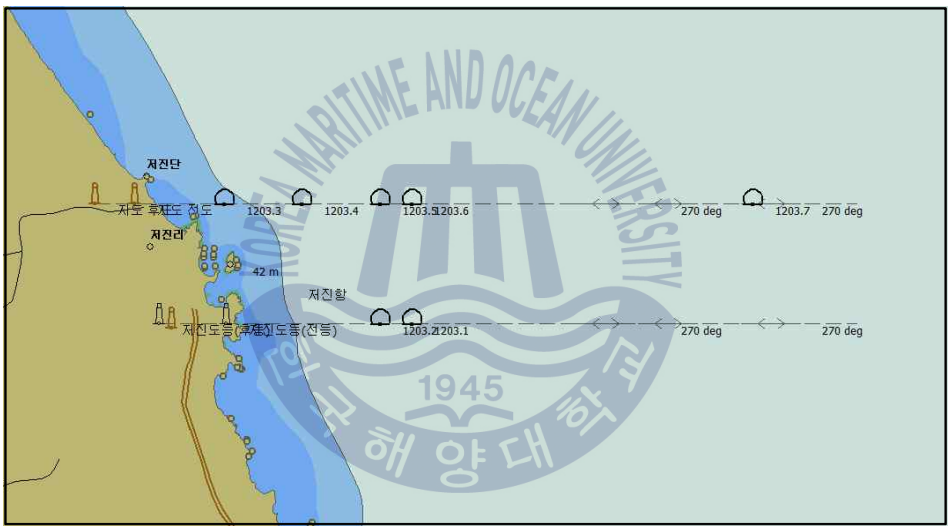


Fig. 58 Location of Jeojin and Jeodo Leading Lights

저진도등의 설계 값은 <Table 19>와 같으며 서비스구역은 전도등에서 270도 방향으로 5,410m지점부터 4,360m지점(전도등으로부터 9,770m)까지 어로구역 남측 한계구역을 표시하도록 되어 있다.

Collection @ kmou

Table 19 Design Data of Jeojin Leading Lights

Div.	Design Value
Channel Length	4,360m
Mean Sea Level	DL.(+) 0.3m
Background Lighting	None
Minimum Visibility	7.5NM
Design Visibility	8NM
Maximum Visibility	10NM
Distance between FL & RL	1,040m
Distance FL to near end	5,410m

저진도등의 경우 항해원조 목적이 아니어서 항로폭이 존재하지 않는다. 저진도등의 설계 값 및 조건을 입력하고 IALA 도등 설계프로그램을 시뮬레이션을 시행한 결과 <Fig. 59>와 같이 축 이탈거리(Off Axis Distance)가 안고 8m 일 때 69m, 안고 15m 일 때 70m, 안고 23m 일 때 70m이다. 전도등 권고야간광도 7,856cd, 후도등 권고야간광도 12,533cd로 운영 중인 광도는 870,000cd이므로 저진도등은 적절히 설치 운영 중인 것으로 판단된다.

Collection @ kmou

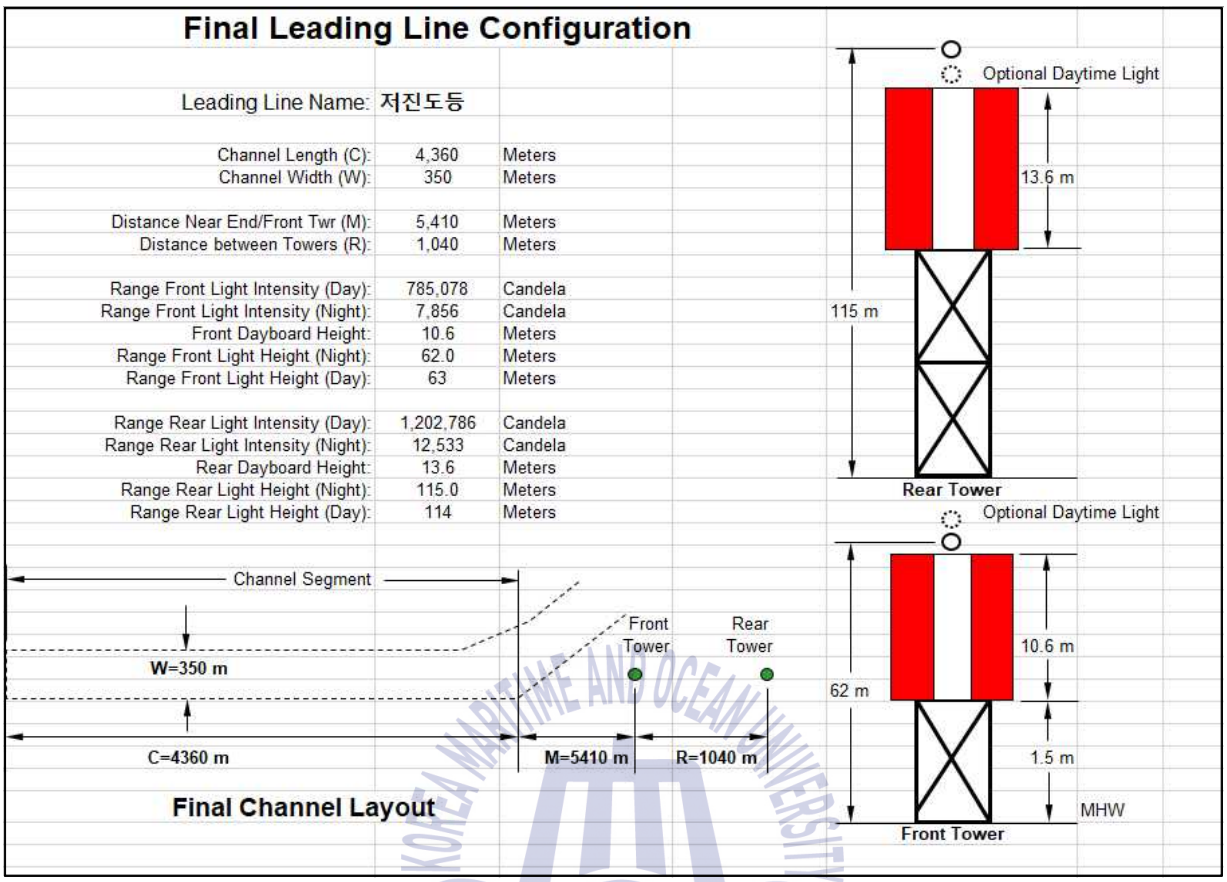


Fig. 59 Result of Simulation (Jeojin Leading Lights)

(2) 저도도등

저도도등은 어선안전조업규정 일부개정(‘06.4.7)으로 강원도 고성군 현내면 저진리 소재 저도어장 조업구역이 1마일 북상 확장됨에 따라 조업선박들의 월선방지 및 안전을 도모하기 위하여 확장어장 한계선을 표시하기 위하여 <Fig. 60>과 같이 설치된 항로표지 시설이다.

저도전도등은 <Table 20>과 같이 (등탑 : 23m, 등고 : 29m, 등광 : 녹색, 광도 : 458,000cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 5M(주간)), 후도등(등탑 : 37m, 등고 : 48m, 등광 : 녹색, 광도 : 458,000cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 5M(주간))으로 설치되어 있다.

Collection @ kmou

Table 20 General Status of Jeodo Leading Lights

Name	Location	Elevation of Tower	Elevation (m)	Intensity (cd)	Visibility (NM)	Char.	Lantern
Jeodo Leading Light(Front)	38-24.16N 128-23.52E	23	29	458,000	5(주간)	FG	High Luminance LED
Jeodo Leading Light(Rear)	38-24.16N 128-23.11E	37	48	458,000	5(주간)	FG	High Luminance LED

Fig. 60 View of Jeodo Leading Lights

저도도등의 설계 값은 <Table 21>과 같이 서비스구역은 저진 C호 등부표 부근에서 270도 방향으로 4,360m지점까지 어로행위 북측 한계구역을 표시하도록 되어 있다.

Collection @ kmou

Table 21 Design Data of Jeodo Leading Lights

Div.	Design Value
Channel Length	4,360m
Mean Sea Level	DL.(+) 0.3m
Background Lighting	None
Minimum Visibility	7.5NM
Design Visibility	8NM
Maximum Visibility	10NM
Distance between FL & RL	600m
Distance FL to near end	6,830m

저도도등의 경우 항해원조 목적이 아니어서 항로폭이 존재하지 않는다. 저진도등의 설계 값 및 조건을 입력하고 IALA 도등 설계프로그램을 시뮬레이션을 시행한 결과 <Fig. 61>와 같이 축 이탈거리(Off Axis Distance)가 안고 8m 일 때 76m, 안고 15m 일 때 76m, 안고 23m 일 때 76m이다. 전도등 권고야간광도 13,994cd, 후도등 권고야간광도 17,543cd로 현재 운영 중인 광도는 이보다 더 높은 458,000cd이므로 저도도등은 적절히 설치 운영 중인 것으로 판단된다.

Collection @ kmou

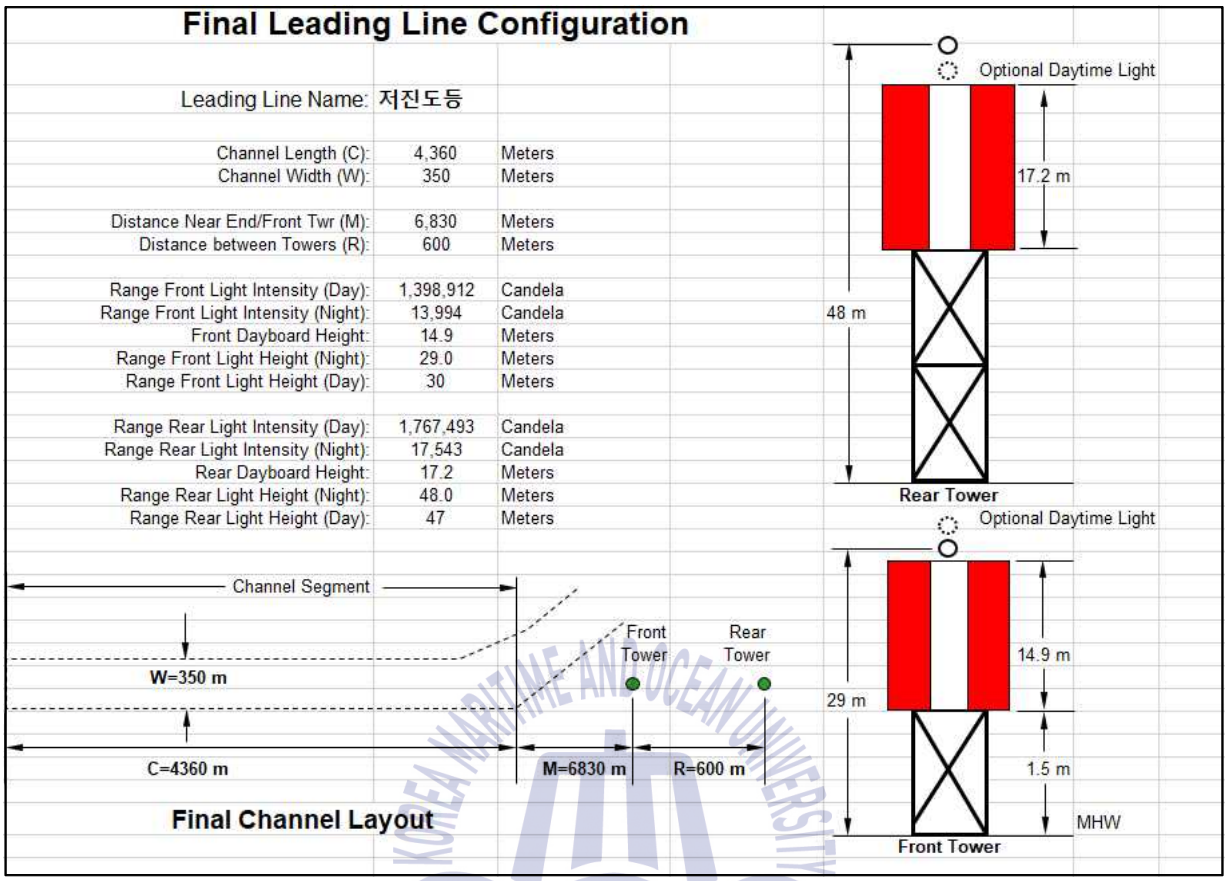


Fig. 61 Result of Simulation (Jeodo Leading Lights)

라) 인천지방해양수산청 도등

(1) 연평도항도등

연평도항도등은 <Fig. 62>과 같이 연평도항 입항선박의 안전한 유도를 위하여 2013년 설치된 항로표지 시설이다.

연평도항전도등은 <Table 22>와 같이 (등탑 : 3.7m, 등고 : 10m, 등광 : 녹색, 광도 : 400cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 7M), 후도등(등탑 : 19m, 등고 : 25m, 등광 : 녹색, 광도 : 400cd, 등질 : FG, 명목적광달거리 : 7M)으로 설치되어 있다.

Collection @ kmou

Table 22 General Status of Yeonpyeongdo Port Leading Lights

Name	Location	Elevation of Tower	Elevation (m)	Intensity (cd)	Visibility (NM)	Char.	Lantern
Yeonpyeongdo Port Leading Light (Front)	37-39.48N 125-42.82E	3.7	10	400	7	FG	High Luminance LED
Yeonpyeongdo Port Leading Light (Rear)	37-39.55N 125-42.77E	19	25	400	7	FG	High Luminance LED

Fig. 62 View of Yeonpyeongdo Port Leading Lights

연평도항의 설계 값은 <Table 23>과 같이 서비스구역은 연평도항 방파제등대 부근에서 일적선 구간 730m이며 항로폭은 80m이다.

Collection @ kmou

Table 23 Design Data of Yeonpyeongdo Leading Lights

Div.	Design Value
Channel Length	730m
Channel Width	80m
Mean Sea Level	DL.(+) 0.3m
Background Lighting	None
Minimum Visibility	7.5NM
Design Visibility	8NM
Maximum Visibility	10NM
Distance between FL & RL	150m
Distance FL to near end	100m

연평도항도등의 운영 중인 값 및 조건을 입력하고 IALA 도등 설계프로그램을 시뮬레이션 결과 <Fig. 63>과 같이 최소 권고사항이 도출되었으며 항로상에서 이용자가 항로의 중시선을 확실하게 인지할 수 있음을 표시하는 민감도 즉, 수직이탈 거리비(Cross Track Factor)가 안고 8m 일 때 22%, 안고 15m 일 때 24%, 안고 23m 일 때 26%로 IALA 지침 기준의 “좋음(Good, 20%~30%)” 에 해당되므로 이용자 측면에서 항로의 중시선을 명확히 인지할 수 있음을 나타내었다. 따라서 연평도항도등은 이용선박, 항로여건 등이 고려되어 적절히 설치 운영중인 것으로 판단된다.

Collection @ kmou

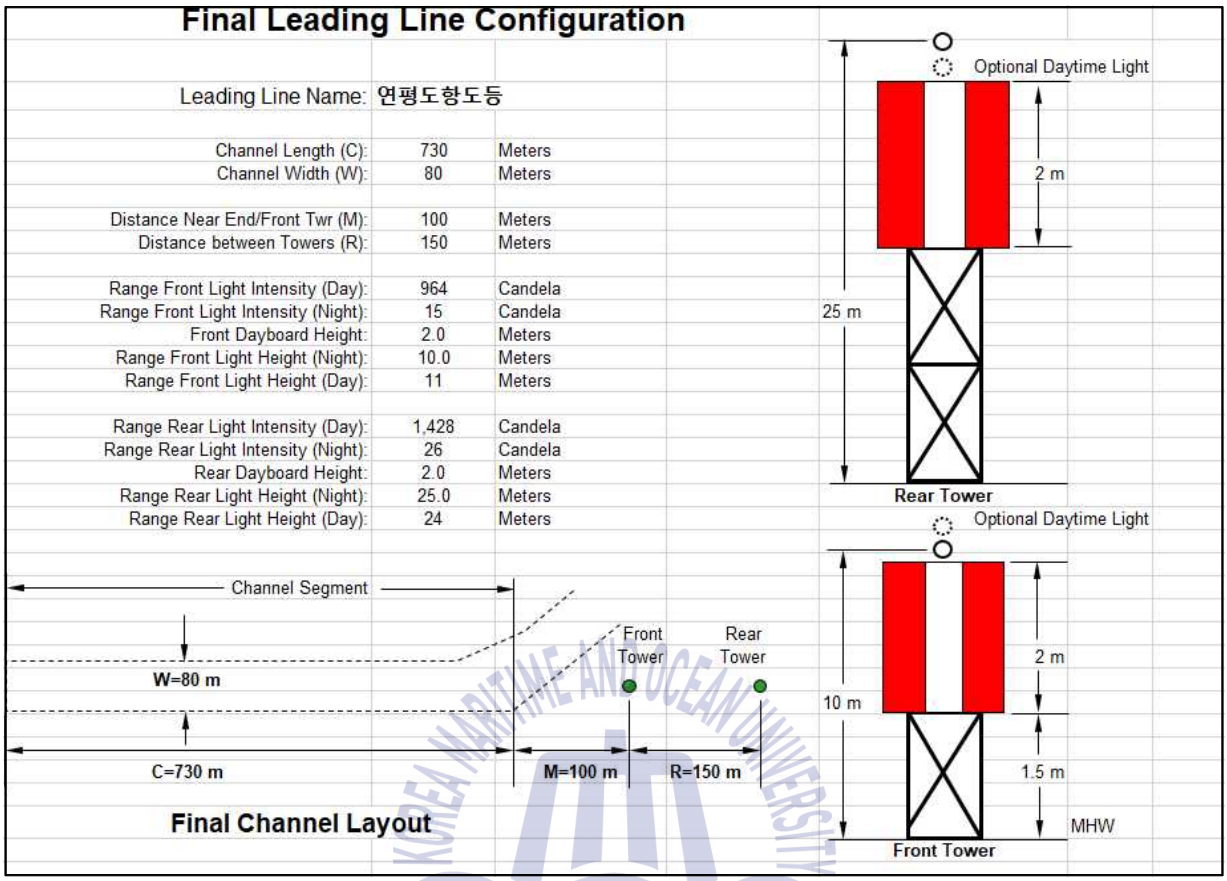


Fig. 63 Result of Simulation (Yeonpyeongdo Port Leading Lights)

Collection @ kmou

2) Transit Line 해상교통안전시스템 국외 현황

가) 영국

리소우(Leasowe) 등대는 <Fig. 64>에 나타난 바와 같이 위랄(wirral)에서 리버풀로 입항하는 선박을 위해 1763년 리버풀항에 설치되었으며 최초의 도등으로 알려져 있다. 벽돌로 만들어 졌고 도색은 흰색이며 등고는 33.5m이다.

Fig. 64 Leasowe Lighthouse(Front), 1763 ~ 1908

플리트우드(Fleetwood) 도등은 <Fig. 65>과 <Fig. 66>에 나타난 바와 같이 1840년부터 설치 운영되고 있으며 전도등의 등고는 9m이고 광달거리는 9NM이다. 후도등의 등고는 27m이고 광달거리는 13NM이다.

Collection @ kmou

Fig. 65 Fleetwood Lower Light(Front)

Fig. 66 Fleetwood High Light(Rear)

나) 미국

뉴욕항(New York Harbour)의 경우 스태튼섬(Staten Island)의 해안을 따라 자라는 느릅나무(elm tree)가 우수한 항로표지 역할을 하였다. 하지만 선장과 항해사는 주요 항만에 접근할 때 적절한 항로표지가 없는 것에 대해 많은 우려를 했다. 당시 뉴욕항은 세계에서 가장 번잡한 항구 중 하나였으며 런던 다음으로 수입량이 많았다. 이에 대해 의회는 1852년에 로우어뉴욕만(Lower New York Bay)에 6개의 등대 설립을 허가하였으며, 뉴저지(New Jeorge) 해안 4개, 스테이튼섬(Staten Island)에 2개로 나누었다. 이들은 쌍으로 지어졌으며 <Fig. 67>과 같이 전도등인 느릅나무등(elem tree light, 나무이름을 따서 명명)은 스테이트섬(Staten Island)의 남쪽지역 세다그로브(Cedar Grove)가(街)에 위치하였다. 후도등인 뉴돌프등(New Dorp Light)은 목재타워이며 아몬트(Altmont)와 보일(Boyle)가(街)사이에 설치되었으며 스와시해협(Swash Channel) 선박 운항에 안전을 도모하였다.

Collection @ kmou

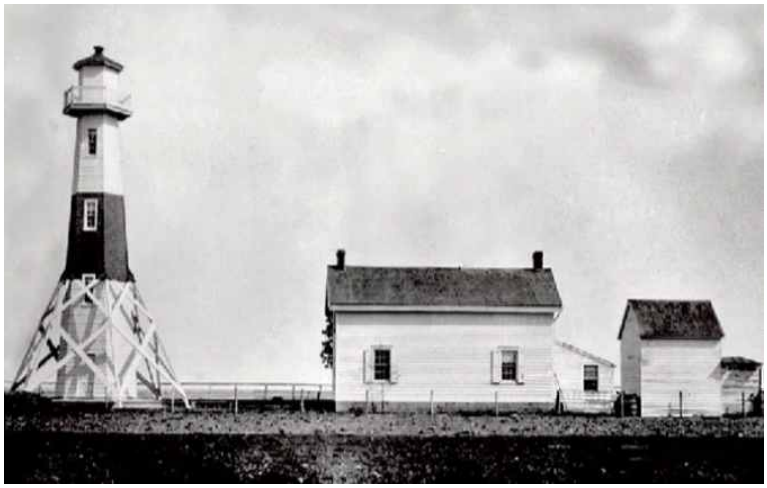


Fig. 67 Elm Tree Lighthouse

뉴돌프등(New Dorp Light)과 비슷한 구조의 포인트컴포트등(Point Comfort Light)은 뉴저지 키어스버그(Keansburg) 해안에 위치하였다. 그것은 게드니해협(Gedney Channel)의 전도등 역할을 하였으며 <Fig. 68>에 나타난 바와 같이 후도등인 와칵등(Waackaack Light)과 약 1.4km 떨어져있으며 키스버그(Keansburg)해안에 96ft 높이의 탑이 설치되었다. 와칵등(Waackaack Light)과 포인트콤포트등(Point Comfort Light)은 라리탄만(Raritan Bay)를 항해하는 선박의 안전을 향상시켰다.

Fig. 68 Waackaack Leading Light (Rear)

Collection @ kmou

코니 아일랜드와 샌디 후크 사이의 넓은 모래톱이 존재했으며 수심은 매우 얕아 선박의 안전운항을 도모하고자 1852년 하원 승인에 따라 로우어만(Lower Bay)에 마지막으로 코너버(Conover)와 채플힐(Chapel Hill)에 한 쌍의 도등이 설치되었다. 이는 메인해협(Main Chanel)의 선박 안전을 담당하였다. 코너버(Conover) 전도등은 나무 타워로서 뉴저지주 레오나르도(Leonardo,NJ)의 해안에 세워졌다. 채플힐(Chapel Hill) 후도등은 코너버(Conover) 전도등(7 Roebling Court, Middletown, NJ)에서 1.5 마일 떨어져있다. <Fig. 69 및 Fig. 70 참조>

Fig. 69 Conover Leading Light(Front) 1856~1988

Fig. 70 Chapel hill Leading Light(Rear) 1856 ~ 1957

웨스트뱅크등대(West Bank Lighthouse)는 <Fig. 71>과 같이 스테이튼아일랜드의 미들랜드해변(Midland Beach) 주변에 위치하여 전도등으로 사용되고 있으며 리치몬드(Richmond) 언덕에 90ft 높이의 스태튼아일랜드등(Staten Island Light)은 <Fig. 72>과 같이 후도등으로 사용되었다.

Collection @ kmou

Fig. 71 West Bank Leading Light (Front) 1901~Current

Fig. 72 Staten Island Leading Light(Rear) 1912 ~ Current

대서양 연안으로 내려가면 델라웨어 만과 강은 약 24 개 도등이 설치되어있다(델라웨어베이 등대관리원협회). 1880년대 초, 의회는 Delaware Bay에 입항하거나 피항을 하는 선박을 위한 철탑 설치 예산을 2만 달러를 배정하였다. 뉴저지주의 트렌턴(Trenton)에 위치하고 그린힐등(Green Hill Light)으로 불렸으며 후도등으로 기능하였다. 그것은 1902년까지 <Fig. 73>과 같은 Delaware Breakwater West End Light(전도등)와 짝을 지었다. 그 다음 해에는 전도등은 Delaware Breakwater East End Light로 바뀌었다.

Fig. 73 Delaware Breakwater East End Leading Light(Front) 1885 ~ Current

Collection @ kmou

다) 호주

멜번(Melborune)항 도등은 <Fig. 74>과 <Fig. 75>에 나타난 바와 같이 필립만 항에서 멜번항 해협의 중앙으로 선박운항을 안전하게 유도하기 위해 1924년 설치되었다. 양초모양으로 폭이 점점 가늘어지도록 나무 프레임을 이용하여 건축하였다. 등질은 Fixed Green Light이며 후도등의 등고는 26미터이다. 전도등과 후도등 간 거리는 500m 이다.

Fig. 74 Melborune Leading Light (Front)

Fig. 75 Melborune Leading Light (Rear)

Vaucluse만 도등은 1910년에 설치되었으며 <Fig. 76>과 <Fig. 77>과 같이 현재 주택정원에 위치하고 있다. 전도등의 등고는 16m이고 후도등의 등고는 84m 이다. 등질은 Fixed Red이다. 타워는 둥근 실린더 형식이며 흰색으로 도색되어 있다. 전도등과 후도등 간의 거리는 945m 이다.

Collection @ kmou

Fig. 76 Vaucluse Bay Leading Light (Front)

Fig. 77 Vaucluse Bay Leading Light(Rear)

라) 독일

Stade의 Lühe항을 입항하는 선박의 안전 도모하고자 <Fig. 78>과 같이 독일 엘베강(Elbe)에 Mielstack 전도등과 Somfletherwisch 후도등을 2010년에 설치하였다. 도등의 광달거리는 12.3NM이고 도등의 지도선은 136° 이다. 등질은 흰색 Iso 8s이다.

Collection @ kmou

Fig. 78 Mielstack Leading Light(Front) and Somfletherwisch Leading Light(Rear)

마) 캐나다

캐나다 마가리항 도등은 <Fig. 79>에 나타난 바와 같이 마가리항을 입항 하는 선박의 안전을 도모하고자 2011년에 설치되었다. 등고는 전도등 15m이고 후도등 21m이다. 등질은 Fixed Red이다.

Fig. 79 Margaree Port Leading Light

Collection @ kmou

2.3 해상교통안전시스템 미래

2.3.1 해양 4차 산업혁명

여러 인류문명의 발전사 중에서 혁명적인 것은 인류가 그동안 여러 가지 도구나 연장을 사용하던 시대에서 이를 대신할 수 있는 기계를 발명한 것이라고 할 수 있다. 최초의 기계는 1773년에 영국의 존 케이가 직물을 짜는 기계인 '비사(flying shuttle)'를 발명한 후 직조기술이 발전하여 그동안 사람이 일일이 손으로 짜던 면포를 자동왕복 방식으로 베를 짤 수 있도록 베틀을 만들어 생산량이 두 배로 확대되었다고 한다. 이후 1768년에는 영국의 방적공 하그리브스가 방적기를 만듦으로써 방적기 한 대가 방적공 200명의 역할을 할 수 있었다. 이처럼 기계문명과 산업적 관점에서 볼 때 와트는 최초의 실용 증기 엔진을 개발함으로써 운송과 제작에 혁신적인 변화가 생김으로써 영국은 새로운 시대로 도약할 수 있었다. 물론 증기기관은 후에 내연 기관이나 디젤 엔진 등으로 발전하였으며 이러한 와트의 증기기관 발명은 지금까지의 농업생산 중심에서 공장산업 중심으로 경제 패러다임의 변화를 이끌어 내는데 있어 중요한 역할을 하였던 것이다. 이처럼 1784년경 증기기관을 활용하여 영국의 섬유공업이 기계화 생산으로 거대 산업화를 이루었던 것을 우리는 흔히 1차 산업혁명이라고 한다. 이로부터 약 90년의 세월이 흐른 후 1870년경에는 전기가 보급되어 포드가 도입한 컨베이어벨트 생산체제가 도입됨으로써 전기를 통한 대량생산이 가능해졌으며 독일, 프랑스, 미국 등에서도 공업 생산력이 증대되고 화학, 전기, 석유, 철강, 인쇄분야 등에서 기술혁신이 날로 진행되었다. 이와 같이 공장에서 전기를 활용하여 사람의 힘을 적게 들이고도 대량생산을 할 수 있게 되었는데 이러한 사회의 특징을 제2차 산업혁명시대라고 한다.

다시 이로부터 약 100여년의 세월이 흐른 뒤인 1969년에 미국 국방성에서 인터넷을 처음 개발하여 1990년대 초반에 전 세계 약 3천여 개의 대학, 기업, 연구소, 국가기관 등이 연결됨으로써 세계최대의 전산망으로 발전하였다. 그 후 세계 60개국의 컴퓨터들이 하나의 통신망으로 연결되어 세계 최대의 컴퓨터 통

Collection @ kmou

신망인 인터넷서비스를 일반인도 이용하게 된 것이다. 이와 같이 전 세계가 하나의 통신망으로 확대되어 연결됨으로써 오늘날 우리가 널리 사용하고 있는 전자우편의 편리한 기능들을 비롯하여 정치, 경제, 사회, 과학, 문화 등에서 지구촌이 급속도로 연결되고 통일되어가는 스마트 혁명은 미국주도의 IT기업이 급부상되어 컴퓨터와 인터넷기반의 지식정보화 시대라고 일컫는 제3차 산업혁명 시대가 도래하였다. 이제는 이러한 제3차 산업혁명이 도래한지 약 50년이 지난 지금에는 3차 산업혁명을 토대로 사람과 사물, 공간을 초연결하고 초지능화하여 사업구조 시스템의 혁신으로 사물인터넷의 인공지능 기반인 정보통신기술(IT)의 융합을 통해 모든 세계를 빅 데이터에 입각하여 통합시켜 사회의 모든 분야에 영향을 미치게 되는 다양한 신기술을 접목하는 것이다. <Fig. 80>에 나타난 바와 같이 컴퓨터를 기반으로 하는 생산방식의 혁신과 인공지능을 기반으로 한 소프트웨어 및 엄청난 양의 데이터를 처리하는 빅데이터 기술이 우리의 일상생활은 물론 생산방식에 까지 혁신적으로 변화시키는 제4차 산업혁명 시대가 도래 한 것이다.

Fig. 80 Industrial 4.0 Revolution

Collection @ kmou

2.3.2 e-Navigation

1) e-Navigation의 개념

e-Navigation은 첨단 정보통신기술(ICT)을 활용하여 선박에는 전자해도를 기반으로 항법시스템을 자동화·표준화시키고, 육상에서는 관제 · 모니터링을 통해 선박의 안전운항을 원격 지원하며 이를 위해 해상무선통신환경을 개선한 것이다(IMO, 2008).

다시 말해서 e-Navigation을 구성하려면 선박에서는 선박 내 다양한 항법시스템을 표준화하고 전자해도 화면에 연계하여 항해사가 안전항해에만 전념하도록 항해환경을 조성하는 것이다. 육상에서는 각종 해양안전정보를 수집하여 선박위치 기반의 맞춤형 안전정보를 제공하여 항해사의 정확한 의사결정을 지원한다. 이를 위해 기존의 해상무선통신체계를 현대화하고 육상의 이동통신 인프라를 해상에 활용하여 해상의 통신장벽을 해소해야한다.

2) IMO의 e-Navigation 도입배경과 추진경과

선박사고의 89%가 운항미숙이나 판단착오 등 인적요인에 의해 발생하였다. 이로 인하여 2005년 12월 영국, 미국, 일본, 마샬제도, 네덜란드, 노르웨이, 싱가포르 7개국 에서 인적요인에 의한 해양사고예방을 위해 선박운항기술에 정보통신기술(ICT)을 융합한 e-Navigation 도입 필요성을 제기하게 되었다. 2006년 IMO는 인적요인에 의한 해양사고 감소를 위해 기존 선박운항과 관리체계에 정보통신기술(ICT)을 융합한 e-Navigation을 도입하기로 결정하였고 2018년부터 전자해도 사용이 의무화되면서 각종 항해정보가 전자해도 화면에 연계되도록 선박항법시스템 표준화를 추진하고 있다.

IMO MSC 산하 항해안전전문위원회 Navigation(이하 NAV) 제54차(2008년) 회의에서 e-Navigation의 개발과 이행을 위한 전략 초안을 개발하였다. 또한 IMO MSC 산하 통신 및 수색구조전문위원회 Communication and Search and

Collection @ kmou

Rescue(이하 COMSAR) 제14차(2010년) 회의에서 e-Navigation의 포괄적 아키텍처를 개발하였고 현존 통신장비 뿐만 아니라 미래의 통신장비까지 포함한 기능 식별 및 사용자 요구사항을 정리하고 통신대역 및 주파수에 대한 제한을 검토하였다. NAV 제57차(2011년) 향상된 통신 체계 정립을 위해 공통해사데이터구조(Common Maritime Data Structure, CMDS) 개발 필요성에 동의하였고 이와 같은 서비스를 위해 <Table 24>에 나타난 바와 같이 IMO는 항구 등 주어진 해역에서 제공되는 서비스의 수준별 집합을 의미하는 총 16개의 해사서비스포트폴리오(Maritime Service Portfolio, MSPs)를 개발하였다.

Table 24 The Sixteen Maritime Service Portfolio

MSP	Service
MSP 1	VTS Information Service(INS)
MSP 2	Navigational Assistance Service(NAS)
MSP 3	Traffic Organisation Service(TOS)
MSP 4	Local port Service(LPS)
MSP 5	Maritime Safety Information(MSI) Service
MSP 6	Pilotage service
MSP 7	Tug Service
MSP 8	Vessel Shore Reporting
MSP 9	Telemedical Assistance Service(TMAS)
MSP 10	Maritime Assistance Service(MAS)
MSP 11	Nautical Chart Service
MSP 12	Nautical Publications service
MSP 13	Ice navigation Service
MSP 14	Meteorological information service
MSP 15	Real time hydrographic and environmental information service
MSP 16	Search and Rescue Service

Collection @ kmou

IALA는 <Fig. 81>에 나타난 바와 같이 2018년부터 e-Navigation이 시행될 것으로 전망하고 있다. e-Navigation 구현을 위한 5개 필수요소(선박장비, PNT, 통신, 데이터 전송체계, MSP)별로 로드맵을 제시하였고 전자해도 탑재 의무화와 해상 주파수 디지털 체계 전환 등 주요 기술에 대한 국제표준 및 기술은 2018년부터 실현 가능 할 것으로 전망하고 있다(해양수산부, 2014).

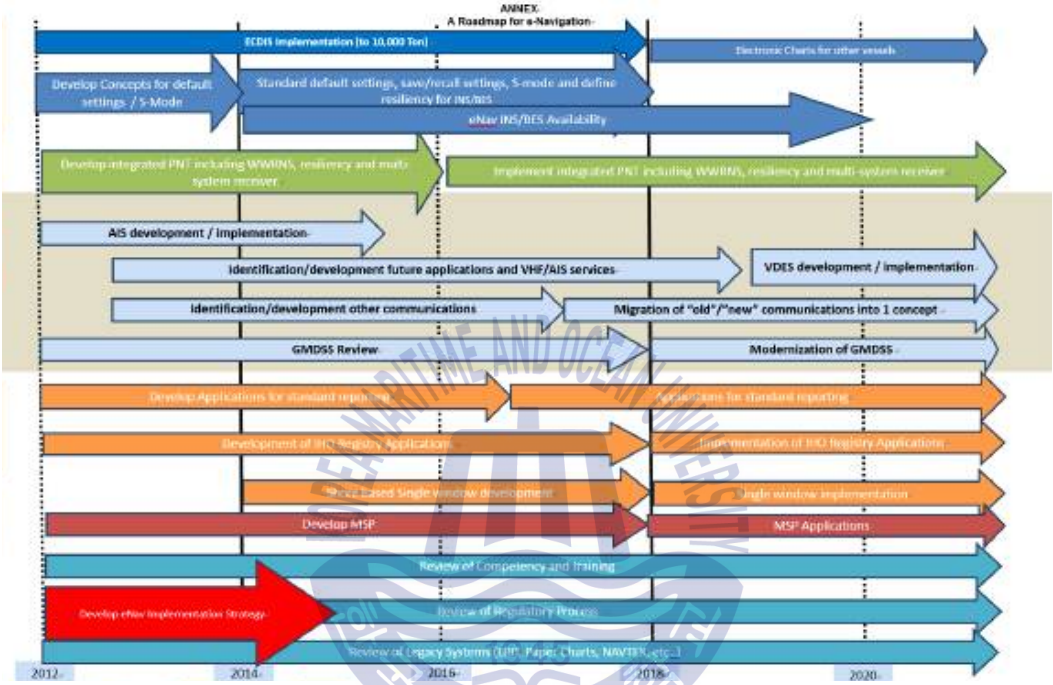


Fig. 81 The IALA's Plan of e-Navigation

3) IALA의 역할

IALA의 목적(Purpose)은 IALA의 목적은 해양 공동체의 이익과 환경보호를 위해 전세계 항로표지의 조화, 개선, 다른 적절한 수단을 통해 선박의 안전하고 경제적이고 효율적인 항해를 촉진하는 것이다. 이 목적은 두 개의 목표(Goal)에 영향을 미치는데 첫 번 째 목표는 국제협력(International Cooperation), 표준(standards) 제공을 통한 항로표지 조화와 통일이다. 여기서 e-Navigation의 전략은 전 세계적으로 해안국과 선박국 시스템 간 서비스의 상호운영을 위해 VTS, 정보 구조, MSPs 및 통신의 향상과 조화를 이루는 것이다. 두 번 째 목표

Collection @ kmou

는 모든 해양 국가들은 역량강화(capacity building)와 전문지식 공유를 통해 항로표지의 효율적 국제 네트워크에 기여하는 것이다. 여기서 e-Navigation 전략은 신기술과 지속가능성을 고려하여 VTS, e-Navigation 및 단거리 항로표지의 개발을 도모하는 것이다.

2006년부터 IALA의 ENAV 기술위원회는 IMO의 e-Navigation 전략 형성에 상당한 기여를 하였다. 지금도 e-Navigation 개념을 현실화시킨 업적이 많이 남아 있다. ENAV 기술위원회 작업반은 다음과 같은 5가지 기술영역이 존재한다. Technical Domain 1은 데이터 모델링 및 메시지 시스템으로 항로표지 데이터 정보 구조, 교환, 제시와 같은 분야를 다루고 있다. Technical Domain 2는 VDES, 위성, MRCP 및 AIS와 같은 e-Navigation 통신체계를 담당하고 있다. Technical Domain 3은 RPNT 연안국 서비스, DGPS, eLoran 및 가상항로표지와 같은 육상 기반 기술 인프라 영역을 다루고 있다. Technical Domain 4는 e-Navigation Testbed의 계획과 진행을 담당하고 결과를 공유하고 있다. Technical Domain 5는 해사 서비스 포트폴리오(MSP)의 설계와 이행을 담당하고 있다(NAVGUIDE, 2018).

4) 한국 e-Navigation 추진의 필요성

우리나라에서 매년 720여건의 해양사고가 지속적으로 발생하고 있으며 해양사고로 인하여 132명의 인명피해(사망 · 실종)가 발생하고 있다. 또한 2011년 기준 2,927억원의 경제적 손실(보험금 지급기준)이 발생하였다. 전체사고의 89%가 판단착오, 운항미숙 등 종사자의 인적요인에 의하여 발생하고 있다.

또한 어선과 연안선 같은 소형 선박은 열악한 항해통신장비와 항해안전정보 이용수단이 미흡하여 전체 사고의 74.3%가 100톤 미만의 연안선박과 소형선박에서 발생하고 전체사고의 77.5%(매년 560여건)가 어선에서 발생하고 있다. 해양사고에 취약한 실정이다.

e-Navigation의 의사결정 지원을 통해 인적과실에 의한 사고예방이 가능할

Collection @ kmou

것이라고 판단하였고 해양안전관리 강화차원에서 e-Navigation을 추진하게 되었다. 또한 디지털 기회지수(전화, 이동전화, 인터넷 이용 정도) 측면에서 해양종사자의 경우 바다에 나서는 순간 육상과 단절된 정보환경에 의해 바다에서의 행복한 활동에 큰 제약이 발생한다. 해상에서도 정보이용이 자유롭도록 e-Navigation 도입을 추진하고자 하였다(해양수산부, 2014).

5) 한국형 e-Navigation

한국형 e-Navigation의 핵심 인프라는 <Fig. 82>과 같이 실시간 선박위치정보를 기반으로 선박의 항로이탈, 충돌, 좌초, 전복 등 관련 위험상황을 자동으로 감지하는 상황인식 기술, 수집된 선박 내·외부 정보를 기반으로 상황에 대한 위험도를 평가·분석하고 단계적으로 이를 경고·통보하는 위험도평가 및 회피동작 지원기술, 위험도 평가결과에 따라 선박 및 육상지원센터의 의사결정 지원, 인근선박 파악, 수색·구조 지원 등 위험상황에 대한 대응기술이 있다. 그리고 위험물운반선, 연안여객선 등 사고취약선박의 화재·폭발, 침수, 과도경사, 기관이상 등 선내 경보시스템을 육상에서 모니터링하여 선박의 이상여부를 확인하는 선내시스템 원격모니터링 서비스와 선박에서 출항 전 항해계획을 육상에 제출하면 육상에서는 예정항로상 각종실시간 정보를 분석하여 최적의 안전항로를 선박에 수정 제공하고 전자항해장비 설치가 곤란한 소형선박(어선, 레저보트 등)을 위해 해상초고속이동통신 기술(LTE)을 활용한 실시간 전자해도 및 해양안전정보를 제공하기 위한 전자해도 스트리밍 서비스를 제공한다. 또한 VTS·비상상황 지원, 교통정보제공, 항만정보 등 IMO에서 정의한 e-Nav 필수서비스 제공을 위한 현황 식별 및 기술도 포함이 되어 있다(해양수산부, 2014).

Collection @ kmou

Fig. 82 Korea e-Navigation Key Infrastructure

2.3.3 자율운항선박(Autonomous Ship)

1) 자율운항선박 개념

자율운항선박은 수면 상에서 운항하는 선박을 대상으로, 사람의 개입 없이 운항하는 완전 자율운항 시스템과 부분적 자율운항 시스템으로 Lloyds Register에서는 <Table 25>에 나타난 것과 같이 자율화등급을 7단계로 나누고 있다.

Collection @ kmou

Table 25 Autonomous Level adopted by Lloyds Register

Description	Operator role
AL 0 : Manual steering. Steering controls or set points for course, etc. are operated manually.	The operator is on board or performs remote control via radio link.
AL 1 : Decision-support on board. Automatic steering of course and speed in accordance with the references and route plan given. The course and speed are measured by sensors on board.	The operator inserts the route in the form of "waypoints" and the desired speed. The operator monitors and changes the course and speed, if necessary.
AL 2 : On-board or shore-based decision support. Steering of route through a sequence of desired positions. The route is calculated so as to observe a wanted plan. An external system is capable of unloading a new route plan.	Monitoring operation and surroundings. Changing course and speed if a situation necessitates this. Proposals for interventions can be given by algorithms.
AL 3 : Execution with human being who monitors and approves. Navigation decisions are proposed by the system based on sensor information from the vessel and its surroundings.	Monitoring the system's function and approving actions before they are executed.
AL 4: Execution with human being who monitors and can intervene. Decisions on navigation and operational actions are calculated by the system which executes what has been calculated according to the operator's approval.	An operator monitors the system's functioning and intervenes if considered necessary. Monitoring can be shore-based.
AL 5: Monitored autonomy. Overall decisions on navigation and operation are calculated by the system. The consequences and risks are countered insofar as possible. Sensors detect relevant elements in the surroundings and the system interprets the situation. The system calculates its own actions and performs these. The operator is contacted in case of uncertainty about the interpretation of the situation.	The system executes the actions calculated by itself. The operator is contacted unless the system is very certain of its interpretation of the surroundings and of its own condition and of the thus calculated actions. Overall goals have been determined by an operator. Monitoring may be shore-based.
AL 6: Full autonomy. Overall decisions on navigation and operation are calculated by the system. Consequences and risks are calculated. The system acts based on its analyses and calculations of its own capability and the surroundings' reaction. Knowledge about the surroundings and previous and typical events are included at a "machine intelligent" level.	'The system makes its own decisions and decides on its own actions. Calculations of own capability and prediction of surrounding traffic's expected reaction. The operator is involved in decisions if the system is uncertain. Overall goals may have been established by the system. Shore-based monitoring.

Collection @ kmou

2) 우리나라의 자율운항선박 도입배경 및 필요성과 추진경과

우리나라의 자율운항선박 도입배경은 <Table 26>에 나타난 바와 같이 4차 산업혁명을 맞이하여 육상의 자율주행차량과 같이 해상에서의 자율운항선박 등장으로 해운·항만 패러다임 전환이 예상되며, 특히 유례없는 조선해운 산업 불황을 극복하기 위함이다.

따라서 과거 조선업의 장기호황으로 유지된 단순 조립형 중심의 저부가가치 품목에 대한 지원을 강화하기 보다는 성장가능성이 높은 고부가가치 품목을 중심으로 지원 대책을 강화하여 새로운 사업전환에 필요한 정책자원을 집중적으로 투입할 필요가 있다.

중국과 일본을 포함해 영국, 노르웨이, 독일 등 경쟁국의 조선업계는 이미 자국 정부와 함께 자율운항 기술에 따른 선박 무인화 작업에 박차를 가하고 있으며, 선도 기술 수준은 국내 조선해운업계보다 훨씬 앞서 있으며, 4차 산업혁명에 대비하는 작업이 업계의 노력만으로는 매우 힘든 만큼 정부의 적극적인 지원이 요구되는 상황이다(해양수산부, 2018).

Table 26 Fourth Industrial Revolution and changing of Shipbuilding and Shipping Industries

Industry	Currently	changing of Shipbuilding and Shipping Industries
Large Shipbuilding Company (Big 3)	• Orders have been on the decline since the 2013 Ecoship boom, and are facing a severe level of orders cliff	• Development of differentiated ships : overcome low-growth ship market by developing next-generation ships suitable for the 4th Industrial Revolution environment
Midium Shipbuilding Company (Big 3)	• After the financial crisis, most of them were dismissed due to the KIKO incident, poor orders, and financial crisis.	

Collection @ kmou

Industry	Currently	changing of Shipbuilding and Shipping Industries
Shipping Company	• The shipping industry, a leading industry in the shipbuilding industry, is in a deep slump due to oversupply (excess bottoms during the early and mid-2000s boom).	• Minimize fault and reduce costs by using unmanned or intelligent fault finding • Protection from collisions, determination of optimal course and satisfaction with emission environmental regulations • Response to the 4th industrial revolution environment by connecting freight logistics services
Marine Equipment Company	• As the Domestic shipbuilding industry has been driven to the brink of collapse due to a shortage of work. For this reason, marine equipment companies are facing a crisis	• Response to the Manufacturing Industry as a Service : Expanding to the Ship Design / Shipbuilding / Extend to O&M Market • Establishment of an Empirical Base Program : Development of ICT technology and creation of marine equipment in response to the 4th Industrial Revolution
Port Logistics	• Port Logistics are major industries in the country that carry 99.7 % of the trade volume by sea, but the marine market depression and oligopoly of supply of liners.	• The future of port cargo, facilities, equipment, and manpower behavior can be predicted through IoT information, AI based big data analysis.

스마트 자율운항 선박 및 해운항만 운용서비스 관련 핵심기술을 국산화하고 각 개별기술을 통합적으로 운영/제어할 수 있는 플랫폼을 확보함으로써 조선해운 강국으로써의 기술경쟁력 및 미래 스마트 자율운항 선박분야의 시장 경쟁력을 확보하고 자율운항선박 관련 국제표준(IMO, IACS, ISO, IEC 등)은 현재 준비 초기단계로서 글로벌 기업들의 독식을 방지하고, 우리나라 기업들의 경쟁력을 높일 수 있도록 국제표준을 선도할 수 있는 체계적인 방안 제시 및 의제를 개발하여 국제 표준을 선도할 필요가 있다.

우리나라의 경우 2010년부터 친환경 선박 개발의 일환으로 IT 기반의 최적운항 솔루션 기술을 개발하여 왔으며, 최근 정부가 지원하는 한국형 e-Navigation 사업을 통해 스마트 자율운항선박의 기반기술개발을 진행하고 있다. 그리고 해

Collection @ kmou

양수산부와 방위사업청은 해양조사, 해양감시·정찰 등 해양주권 강화와 안보목적으로 추진하고 있는 무인수상정 기술개발에 대해 민·군 협력 사업으로 공동 추진하기로 하고 2016년부터 4년간 공동으로 개발하는 협약서(MOU)를 체결하는 등 공동 연구를 추진하고 있다. 2011년 “다목적 지능형 무인선 국산화 개발 사업”(해양수산부), 2013년 “무인수상정 수중음향표적 자율추적기술 연구”(방위사업청)가 독자적으로 수행되어져 왔으나, 양 기관의 MOU를 통해 앞으로는 개발기술을 접목하여 중복투자를 최소화 하고 국산화시기를 앞당길 것으로 예상된다(해양수산부, 2018).

3) 한국의 스마트 자율운항선박 개발의 목표

한국의 스마트 자율운항선박은 <Fig. 83>에 나타난 바와 같이 미래 조선 산업의 선도와 해운 산업의 글로벌 경쟁력 유지를 위한 자율운항선박 개발과 해운항만 운용서비스 기술을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 다시 말해서 선박은 상황을 인식하고 자체적으로 제어하고 이행상황을 운영자가 모니터링 할 수 있도록 보고하는 단계를 목표로 하고 있다. 그리고 운영서비스 측면에서는 운영시스템에서 선박이 처한 상황을 인식하고 선박의 시스템과 협업하여 대처할 수 있도록 지원하며 운항조정상황실에서는 이상상황 발생 시 원격조정이 가능한 단계를 목표로 하고 있다. 운영제도 측면에서는 100% 무인화에 대비하여 시스템 기술자 및 지능화 핵심인재 육성과 관련규정을 제정하는 것을 목표로 한다(해양수산부, 2018).

Collection @ kmou

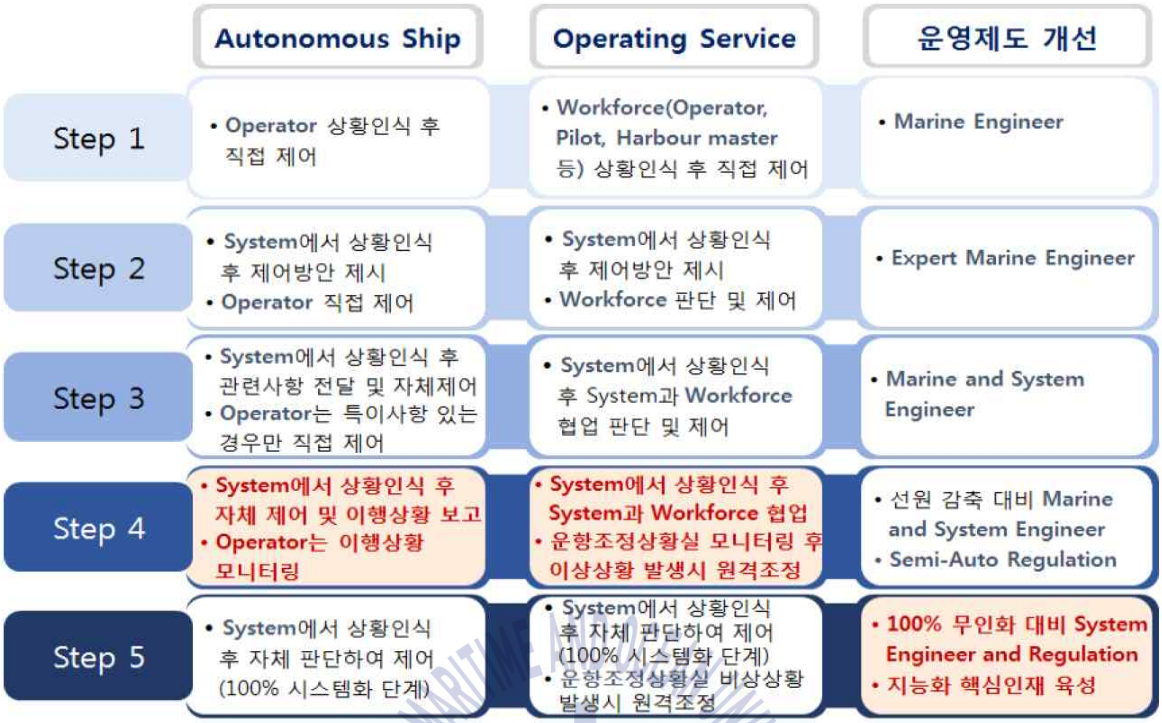


Fig. 83 Goal of Smart Autonomous Ship and Shipping Industry Operating Service Development

이러한 목표 달성을 위해 스마트 자율운항선박의 운항에 필요한 항해/통신 정보 및 제어, 모니터링 정보를 통합적으로 저장, 관리, 빅 데이터 분석을 통해 선박의 안전, 효율적 운항을 지원하며, 육상(Onshore) 플랫폼에 관련 정보를 전송하는 기능을 갖는 선박 플랫폼을 구성하고 여러 척수의 자율운항선박 정보(운항, 상태 등)를 통합적으로 저장, 관리, 빅 데이터 분석을 통해 선대관리, 자산관리, 경제운항 서비스를 창출하는 기능(선사 운영)을 갖는 선사 플랫폼을 구성이 되어야한다. 그리고 새롭게 건조되는 자율운항선박의 성능 및 안전성을 테스트(보안 기능, 자율운항 기능, 통신 및 원격 제어 기능, 부품/기자재 성능 등)을 수행하며, 신뢰성을 평가하고 인증하기 위해 디지털 정보를 저장, 분석하는 기능을 갖는 자율운항 시운전 센터 플랫폼 구성과 우리나라 국적선 및 우리나라 해역에 들어오는 자율운항선박의 운항, 안전, 화물 상황의 정보를 실시간

Collection @ kmou

으로 확인하고 항계 내에서 안전하게 운항이 가능하도록 운항지원을 수행하며, 예상치 못한 상황이 발생될 경우 자율운항선박을 원격으로 제어할 수 있는 기능을 갖춘 운항조정상황실 플랫폼 구축이 필요하다(해양수산부, 2018).

2.3.4 해상교통안전시스템 미래

1) 해상 인터넷망 구축 및 항로표지 모니터링

항로표지는 항(港), 만(灣), 해협(海峽) 그 밖의 대한민국의 내수·영해 및 배타적 경제수역을 항행하는 선박에게 지표가 되는 항행원조 시설이므로 비교적 육지에서 멀리 떨어진 곳에 설치되어 선박이 지표가 되고 있다. 이러한 항로표지 시설을 이용하여 바다 한가운데에서도 초고속 인터넷망을 구축하는 것이 가능하다. 육지에 비해 통신망 구축에 비교적 열악한 해상에서도 2015년부터 LTE 통신망을 지원하는 '초고속 해상 무선통신망(LTE-M)'의 시험구축을 시작하여 육지에서 약 100km 떨어진 해상에서도 고속으로 데이터 통신을 가능하게 할 수 있다. 이러한 해상 통신망이 구축되면 우리나라 인근 해상을 항행하는 선박에서 LTE 네트워크 기반의 통신서비스를 실시간으로 이용할 수 있게 된다. 이러한 통신기반 서비스 시스템이 성공적으로 구축되게 될 경우 이를 기반으로 해상조난사고 예방 등 선박안전운항이 제고될 뿐만 아니라 연안해역에 설치되어 있는 각종 항로표지 정비업무를 위한 모니터링도 쉽게 할 수 있게 되고 향후 선박자동화에 따른 이네비게이션(e-Navigation)시대에 대비하는 통신인프라 환경구축의 기술적 기반이 될 것이다.

우리나라 연안해역에 설치되어 있는 주요 항로표지 시설물중 유·무인등대를 활용하여 구축할 수 있는 해상무선통신망 구축시스템의 개략적인 구성도는 <Fig. 84>과 같다.

Collection @ kmou

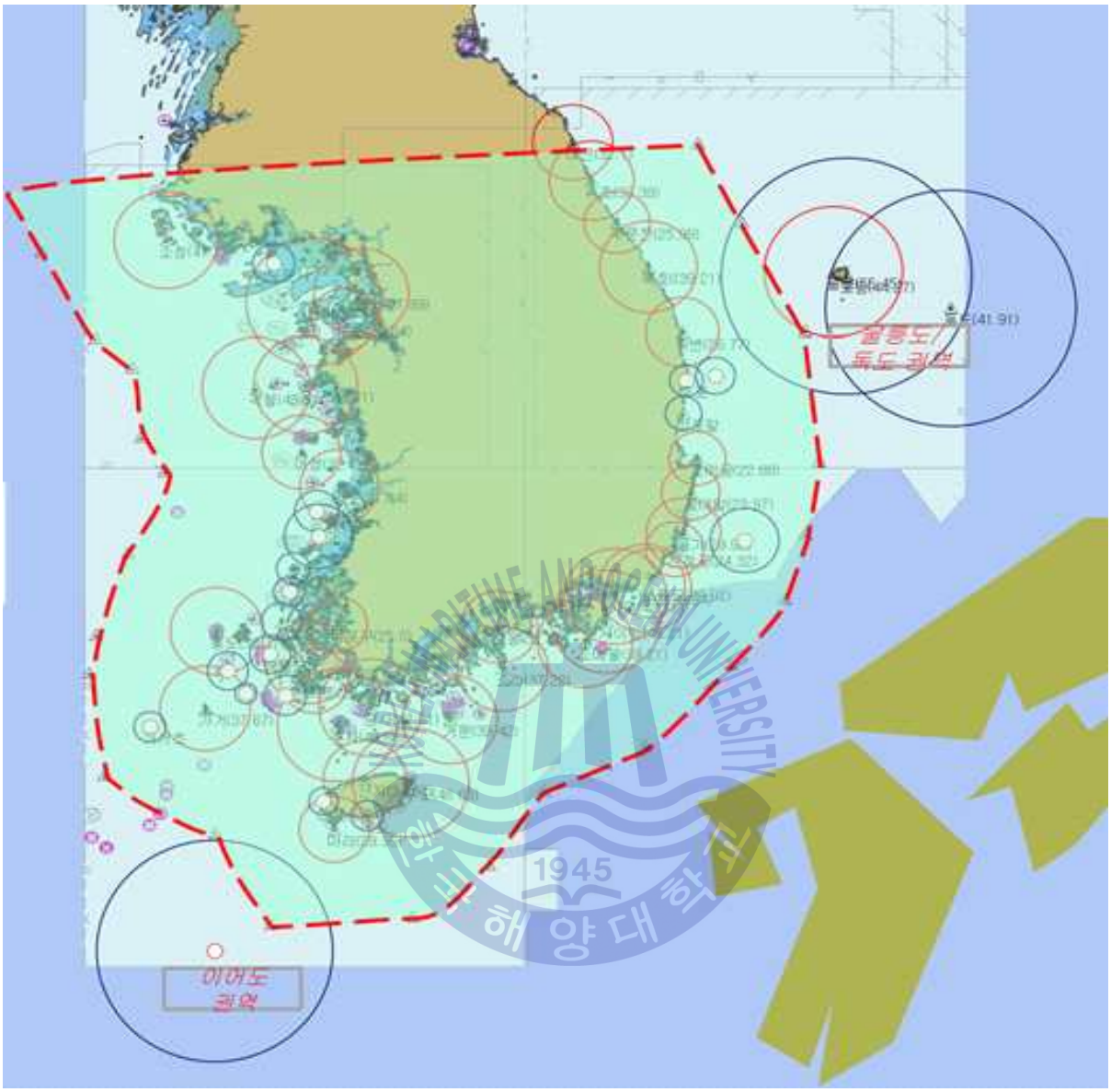
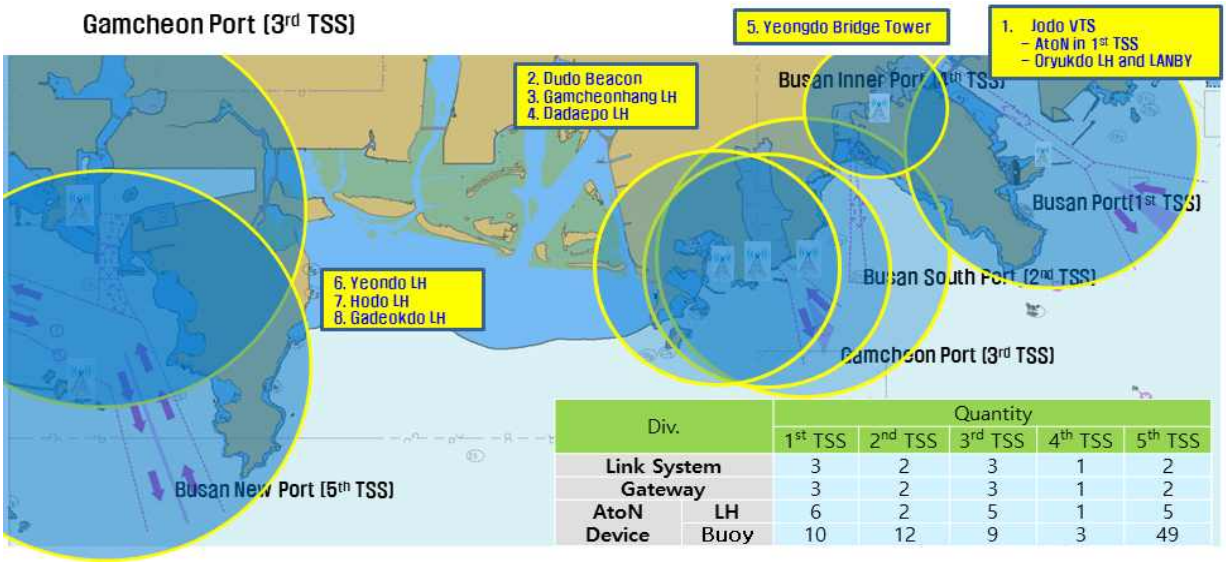


Fig. 84 Maritime Network configuration by Using AtoN (Manned/Unmanned LH and Buoy)

특히, 부산권역의 부산항, 남항, 감천항, 부산신항 인근을 통항하거나 입항하게 될 경우 이용할 수 있는 주요 항로표지의 종류와 설치현황을 나타낸 것으로 <Fig. 85>과 같다.

Collection @ kmou



Div.		Quantity				
		1st TSS	2nd TSS	3rd TSS	4th TSS	5th TSS
Link System		3	2	3	1	2
Gateway		3	2	3	1	2
AtoN	LH	6	2	5	1	5
Device	Buoy	10	12	9	3	49

Fig. 85 Harbor Approach Support Platform

우리나라 연안해역에서 선박의 충돌방지와 해상안전을 위해 SOLAS에서 채택한 선박자동식별장치(AIS)는 최근 AIS를 장착한 선박의 증가와 다양한 AIS응용기기의 출현 및 불법 AIS무선국의 증가로 AIS채널의 과부하 문제가 대두되고 있는 실정이다. 이러한 AIS의 과부하를 방지하고 해양사고를 방지하기 위해 VDES(Maritime VHF Data Exchange System)의 적극적인 개발과 도입이 필요한 실정이다. 국제항로표지협회(IALA) 지침서 G1117 VDES Overview에서 제시하는 VDES 이행을 위한 로드맵에서 2020년부터 VDES를 전격적으로 시행하도록 되어 있으나 우리나라는 개념 정립단계로 기술적으로 뒤처지고 있는 상태이다. 이러한 VDES의 개발과 구축은 향후 선박의 안전항해를 가능하게 할 뿐만 아니라 운송과 물류효율을 증진시키고 효과적인 해상수색구조를 지원하게 되는 것으로 그 현황을 개략적으로 살펴보면 <Fig. 86>과 같다.

Collection @ kmou

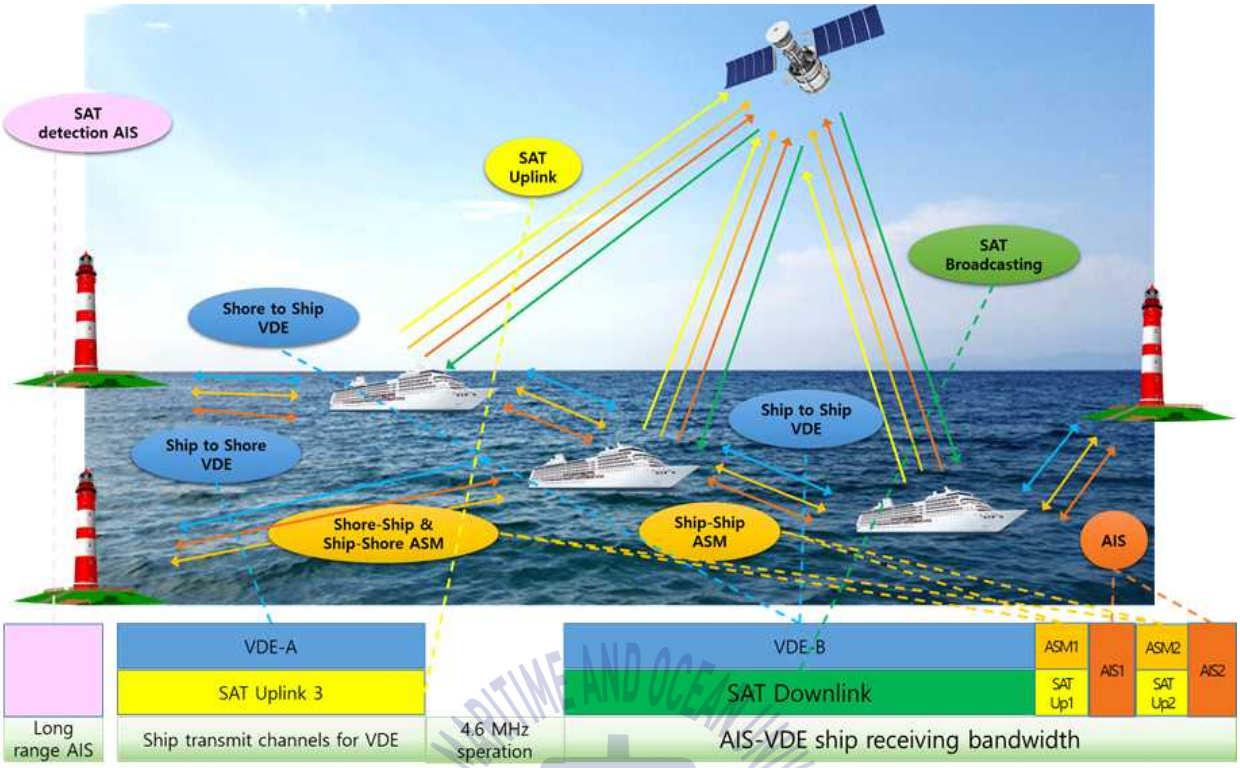


Fig. 86 VDES Functions and Frequency use - full system

국내외 동향 및 향후 전망을 살펴보면 중국의 경우 2016년 VDES 테스트베드를 텐진 통신센터에 설치하고 VDES 실현 가능성을 확인하였으며 SDR(소프트웨어 기반 수신기)를 이용한 광범위한 VDES 테스트는 VDES 채널(AIS, ASM, VDE)에서 만족스러운 결과를 <Fig. 87>와 같이 도출하였다.

한편, 일본의 경우에는 VDE 도입에 대비하여 정보 서비스에 대한 데이터 규모를 조사 완료하였고 정부정책에 따라 JRC 및 FURUNO 社에서 VDES 개발에 적극 추진 중이므로 기업화 단계에 있는 실정이다.

이상을 종합해 보면 국외 VDES는 기업화 단계이나, 우리나라는 ITU-R에서 제시하는 커버리지와 전송속도를 만족시키기 위한 데이터 전송방식, 동기부(synchronization)에 관한 연구만 진행되고 있어 국내 VDES 연구는 초기단계에 머물러 있으나, 일본은 VDES에 관련된 모든 사전조사를 마치고 기업화 단계이

Collection @ kmou

며, 중국은 VDES 테스트베드를 통해 실현 가능성을 확인하고, VDES를 활용한 R-Mode 연구가 시작되었다.

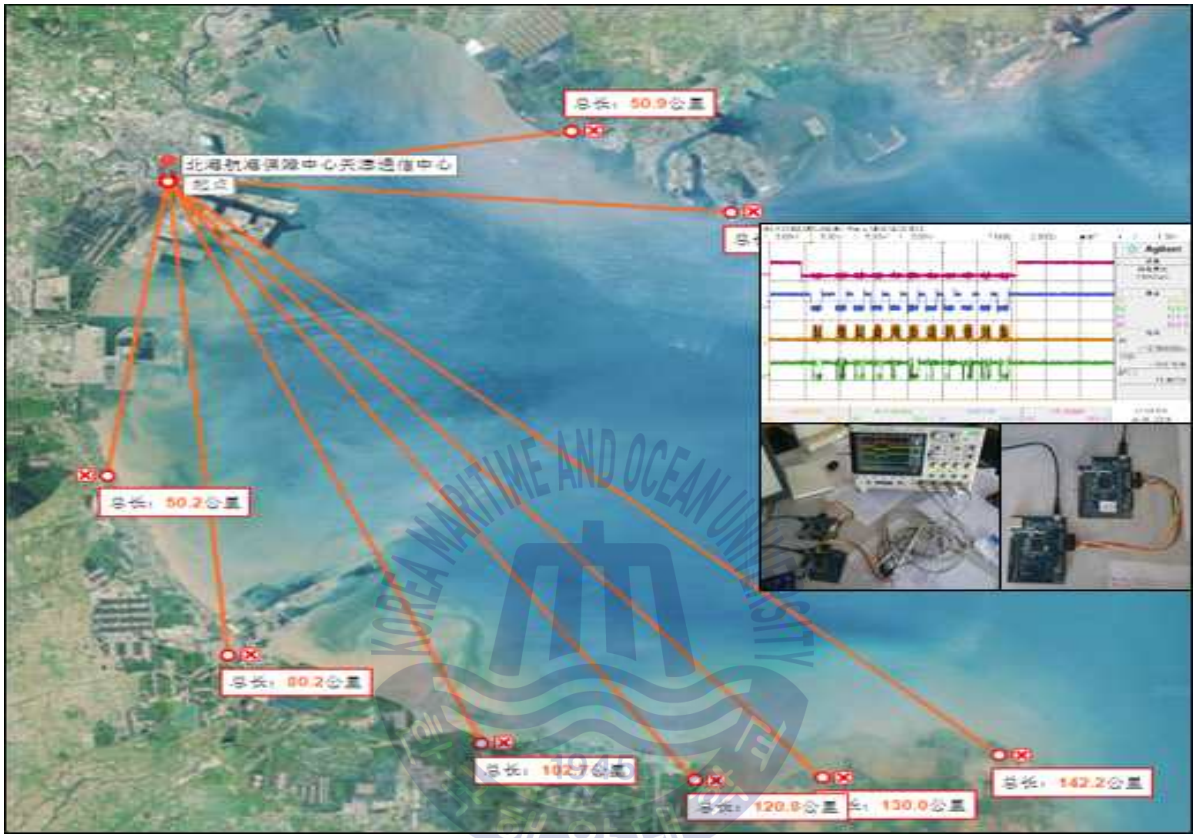


Fig. 87 VDES Testbed of Tenjin Port, China

그러나 우리나라의 경우에는 아직까지 개념정립 단계에 있으며 e-navigation 실현을 위한 해상 디지털 무선통신 기술개발(전송속도 최고 307.2kbps/100kHz, ITU-R M.1842-1 부속서 4 기준 만족, 통달거리 120km)을 지식경제부에서 하고 있으며, 해양수산부에서는 해양 RF 기반 선박용 Ad-hoc 네트워크 개발을 하고 있으며 국내 VDES를 소개하는 학회는 한국항해항만학회, 한국통신학회가 있으며 관련 논문은 총 6편이 있다.

향후 전망을 살펴보면 세계 해양수산업의 부가가치가 2010년에 약 1.5조 달

Collection @ kmou

러(세계 총부가가치의 약 2.5%)에서 2030년까지 약 3조 달러로 2배가량 성장할 것으로 전망되고 있으며 (OECD, 2016), 우리나라는 해양수산업분야에서 2025년까지 14조원 규모의 국내외 시장을 창출할 계획이고(해양수산부,2016), 미래사회 변화(4차 산업혁명)에 대한 대응으로 해양수산부는 R&D 역량을 강화할 계획인바(해양수산부, 2017), 이는 4차 산업혁명에 기여하게 되어 관련창업을 촉진시키고 해양인재육성 및 채용을 활성화 시킬 것으로 기대된다.

2) 자율운항선박 운항환경 조성을 위한 해상플랫폼 구축

해양 4차 산업혁명은 기계를 중심으로 하는 통신(산업인터넷)과 인간을 중심으로 하는 통신(사물인터넷) 및 데이터의 패턴 분석 및 문제되는 신호탐색, 예측되는 문제경고 등 빅 데이터를 활용하여 특수한 안경과 장갑을 사용하고 인간의 시각, 청각 등 감각을 통해 컴퓨터의 소프트웨어 프로그램 내부에서 가능한 것을 현실인 것처럼 유사하게 체험하게 하는 유저인터페이스(user interface) 기술인 가상현실(Virtual Realty)이 있다. 또한, 현실의 이미지나 배경에 3차원 가상 이미지를 겹쳐서 하나의 영상으로 보여주는 기술인 증강현실(Augmented Realty)의 기술을 통하여 각종 재난상황을 체험허가나 헤드업 디스플레이를 통한 선박안전운항을 지원하게 된다.

자율운항선박의 안전운항을 철저하게 담보하기 위해서는 전파표지인 위성항법시스템(GNSS), 지상파항법시스템(e-Lorn) 및 시각표지(광파표지,형상표지)는 물론이며 VDES(Maritime VHF Data Exchange System), Internet-M 등 동원가능한 모든 항로표지 및 통신시스템이 통합적이고 보완적으로 작동하여 한다. 또한, 실시간 정확하고 신뢰도 높은 데이터 전송을 위해서는 PNT(Position, Navigation, Timing)데이터가 무엇보다 중요한 사항인데 이는 군사, 방위, 정부, 기업의 다양한 등용분야에서 활용되고 있으며 항해하는 선박의 안전운항을 지원하기 위해서는 육해상에서 통합적이고 체계적인 자율운항선박의 안전운항을 지원시스템이 <Fig. 88>과 같이 필요하다.

Collection @ kmou

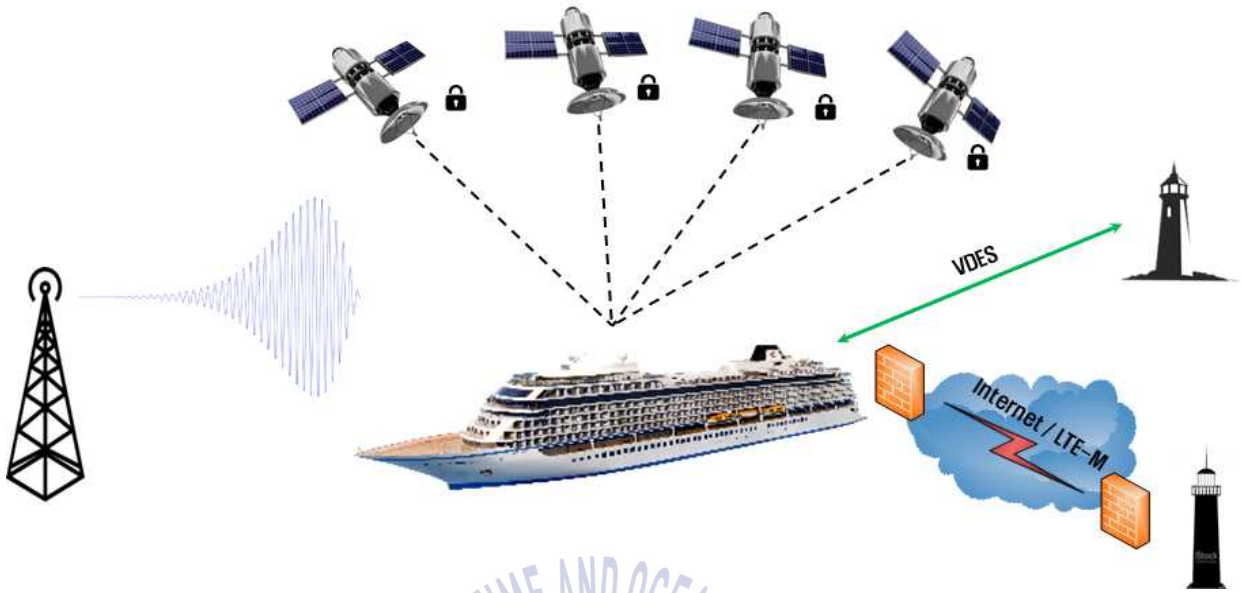


Fig. 88 Support System for Autonomous Ship

이러한 자율운항선박(Autonomous Ships)은 노르웨이 Kongsberg Maritime社가 최초의 완전한 자율운항 연안선박 'Hrönn'호를 2018년에 건조할 예정이며 동 선박은 해양에너지 개발, 과학기술연구, 수로학(hydrographic)연구 및 양식산업 지원에 투입할 예정이라고 한다. 자율운항선박은 해양산업의 미래이며 스마트폰의 파괴력만큼이나 자율주행선박 또한 선박설계와 운영분야를 크게 바꿀 것이며 2016년 6월 롤스로이스해운 社의 사장인 Mikael Makinen은 "완전한 자율주행선박을 2035년까지 만들 것"이라고 하였으며 자율운항선박의 개념도를 살펴보면 <Fig. 89>와 같다.

Collection @ kmou

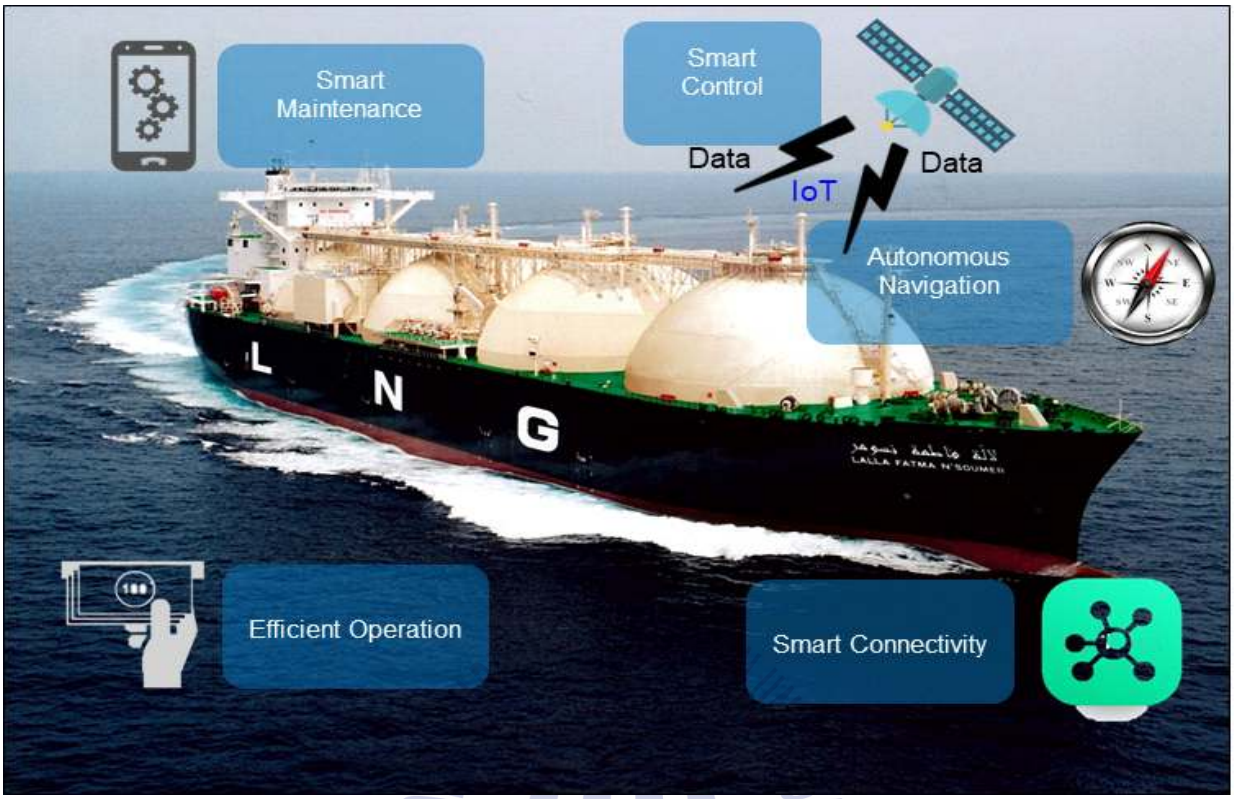


Fig. 89 Concept of Autonomous Ship

앞에서 살펴본 바와 같이 향후 멀지 않는 시대에 곧 도래할 자율운항선박의 안전항행 지원을 위해서는 무엇보다 항로표지의 해상 플랫폼으로서 역할이 중요하다 할 것이다. 따라서 다양한 형태와 위치에 설치된 형상과 색채, 등광을 이용하는 시각표지(등대, 등표, 입표, 등부표, 도등, 조사등, 지향등, 등주, 교량등, 통항신호등 등)와 전파의 특징을 이용하는 전파표지(GNSS, DGNSS, SBAS, R-mode, 항로표지용AIS, 지상파항법시스템, 레이더반사기, 레이더비콘)와 특수신호표지(조류신호소, 해양기상신호표지)는 물론 음파의 특징을 이용하는 음파표지가 있는데 이러한 해상교통시설 인프라는 주로 해상교통안전도모 및 해양환경 보호라는 목적을 위해서 존재한다. 우리나라 전 해역에 설치된 국유항로표지의 총괄수량은 유인등대 37기, 무인등대 967기를 포함하여 총 3,037기를 운영하고 있다. (해양수산부, 2018)

Collection @ kmou

그렇다면 위에서 언급한 것처럼 이제 다가온 해양 4차 산업혁명 시대에 걸맞는 새로운 개념의 항로표지를 개발하여 미래에 대처해야 할 것이다. 따라서 앞으로의 항로표지와 신규로 설치되어야 할 항로표지는 지금까지 와는 다르게 능동적이고 적극적으로 항해자 또는 선박에게 항로이탈이나 장비고장 등 비상상황에서의 지원 서비스를 위해 해양안전서비스를 제공함은 물론 사고 취약선박 모니터링 서비스 역할 등 항로표지에서 e-Navigation 시대에 핵심인프라 역할을 <Fig. 90>과 같이 담당하여야 할 것이다.

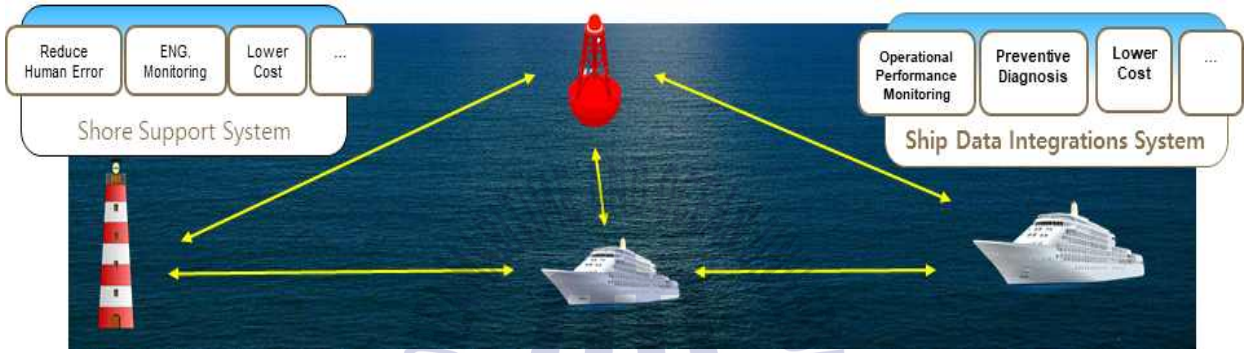


Fig. 90 Maritime Support Platform

특히, 전국 연안에 위치한 38개소의 유인등대와 연안에 설치된 무인등대 및 등부표를 활용하여 유인등대에서는 전파가 도달하지 아니한 음영지역을 보완하고 인터넷망과 LTE망을 이용하여 통합망을 구축함으로써 자율운항선박 지원을 위한 해상플랫폼 운영센터를 구축하여 자율운항선박 제어 및 운영정보 제공을 위해 기상정보(풍향, 풍속, 온도, 습도, 가시거리, 기압)와 해양정보(파향, 파속, 유속, 유향, 수온, 염분) 및 관측정보(적조 및 유류유출 등 해양환경)을 실시간 수집·처리하고 통합하여 선박에 서비스하여야 한다.

이러한 자율운항지원서비스(Autonomous Navigation Serives)는 해상광대역통신(Maritime Broadband Wireless Data Communication), 해상공통데이터모델(Maritime Common Data Model), 안전운항응용서비스(Safety Navigation

Collection @ kmou

Services)를 육상 및 해상에 설치된 항로표지(유·무인등대 및 등부표)를 이용하여 <Fig. 91>과 같이 제공하게 된다.

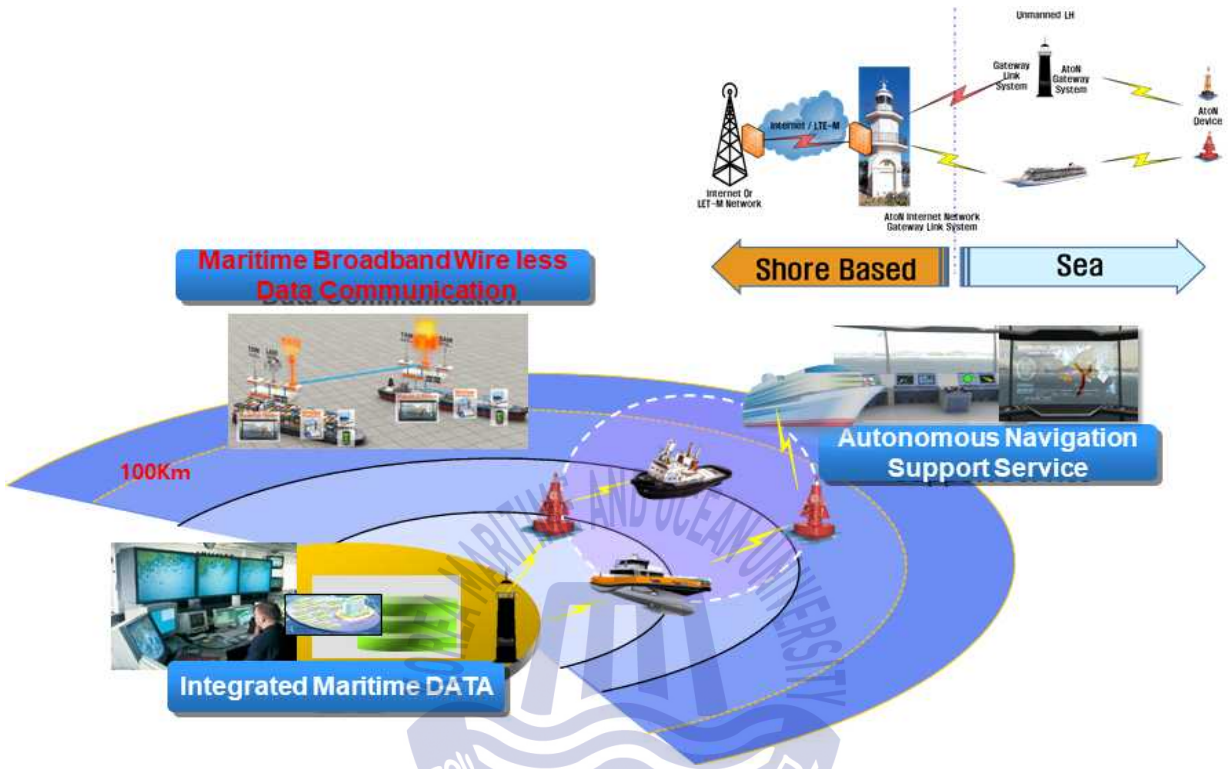


Fig. 91 Maritime Network configuration by Using AtoN Infrastructure

Collection @ kmou

제 3 장 해상교통안전시스템의 Transit Line 설계

3.1 Transit Line

두 물표를 관측하여 두 물표의 방위가 같은 지점을 연결한 직선을 Transit이라고 한다. 국제항로표지협회(International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, IALA)에서는 Transit Line을 표지(또는 유도표지)의 정렬, 등화 또는 무선송신기를 사용하여 만들어지는 항로상에 사용되는 직선으로 정의하고 있으며 등화 혹은 표지의 수직정렬은 가항 항로의 중심선으로 간주한다고 명시되어 있다. 국제항로표지협회(IALA)에서는 항로를 정확히 따라가도록 유도하기 위하여 분명치 않은 가항수로를 표시하거나, 수로의 가장 깊은 곳을 표시하며, 항로 폭이 400m미만인 항로에서는 측방표지의 배치방식에 관계없이 Transit Line을 사용할 것을 권고하고 있다. 그리고 갑자기 좁아지는 항로, 터널과 같이 항로의 중심선을 표시하지 않으면 항행이 곤란한 수역에 제한적으로 설치할 수 있으며, 교량을 통과할 때와 같이 양방향 항로에 대한 분리표시로 사용하도록 권장하고 있다. 이 Transit Line은 위치선(Line of Position, LOP)이 되는데 항해사가 두 물표를 관측하여 같은 방위로 보았다면 선박은 두 물표를 지나는 직선 위의 어느 지점에 위치해 있다는 것이 된다.

두 물표 간 거리가 일정할 때 관측자와 가까운 물표 간 거리가 멀어질수록 Transit Line에서 조금 이탈하여도 그 정도를 자각하기가 힘들어진다. 일반적으로 관측자와 가까운 물표 간 거리가 두 물표 간 거리의 3배 이내이면 Transit Line에서 조금만 벗어나더라도 그 정도를 민감하게 확인할 수 있는 것으로 알려져 있다(IALA, 2005). 또한, 레이더, GPS, 육분의 등 다른 항해보조장비를 활용하지 않고도 육안으로 간단하고 신속하게 위치선(LOP)을 구할 수 있

Collection @ kmou

는 장점이 있어 항해위험물이 많고 선박이 마주치는 상태(Head-on situation)가 자주 발생하거나 협수로를 통과하면서 조금의 위치 오차도 허용하지 않는 상황에서 신속하면서 간단하고 정확하게 선위를 측정할 수 있어 항해사의 부담감을 상당히 경감시킨다. 그리고 주변에 선박이 없고 충분한 시간적 여유가 있을 경우에 Transit Line을 활용하여 자선의 자차측정과 컴파스에러를 보정하는데 이용할 수 있다.

앞서 설명한 바와 같이 Transit Line은 어떤 항해장비도 사용하지 않고 정확한 위치선(Line of Position)을 구할 수 있는 장점이 있어 협수도 등을 통과할 때 정확한 선위를 확인하고, 변침점을 설정하거나 컴파스에러를 측정하고자 할 때 항해사에게 즉시성과 정확성을 주는 수단이다. 하지만 자연물에 의한 Transit Line은 항해 중에 항상 얻을 수 있는 것도 아니고 아주 드물게 확인 할 수 있다. 그러므로 분명하지 않은 가항수로를 표시하고 싶거나 수로의 가장 깊은 곳을 표시하고 싶을 때, 선위를 정확히 구해야 하는 수역에서 위치오차를 발생시키는 선회반경을 가진 부유식 항로표지만 존재할 때, 조류가 강한 항만 입구 또는 강어귀인근과 양방향 통항로의 분기점을 표시하고 싶은 곳에 Transit Line을 제공하는 해상교통안전시스템인 도등을 운영함으로써 큰 편익을 기대할 수 있다. 이러한 해역에서 Transit Line 제공 해상교통안전시스템을 설계할 때 항해사가 안전하게 도착지에 이를 수 있도록 축선을 이루도록 해야 하며 그 축선의 이탈정도를 민감하게 확인할 수 있도록 서비스 항로의 가장 멀리 있는 지점에서 가까운 물표까지 거리의 1/3 이상이 되는 지점에 멀리 있는 물표를 배치하는 것이 필요하다. 그리고 축선은 항해위험물로부터 충분히 먼 거리에서 볼 수 있도록 하는 것이 중요하다.

3.2 해상교통안전시스템의 Transit Line

3.2.1 시스템의 목적 및 기능

항만의 접근항로에 혼잡한 수역에서 선박의 안전통항유도를 위하여 설치되는 시스템으로 선위측정의 시간적 여유가 없을 경우 짧은 시간 내에 항해자가 확

Collection @ kmou

실하게 안전수역을 운항하고 있는지 여부를 알려줄 수 있는 시스템이다.

이러한 Transit Line을 제공하는 해상교통안전시스템의 기능은 다음과 같다.

① 가항항로(navigable channel)를 나타낸다.

② 심흘수 선박에게 항로의 최대 수심 부분을 가리켜 준다.

③ 등표 또는 등부표가 없거나 정확한 항해용으로 부적합한 경우에 가항항로를 나타내 준다.

④ 특히 횡 조류(cross currents)가 있는 항구 또는 하구 진입로에서 안전한 접근을 가능케 한다.

⑤ 양방향 통항을 분리시키는 역할을 한다.

⑥ 대규모 항만(재)개발 또는 해상교량 설치에 따라 해상교통환경이 급격히 악화될 경우 설치할 수 있다.

3.2.2 시스템 기술 및 성능 기준

시스템 기술 및 성능 기준은 다음과 같다.

① 항해자가 위험물로부터 충분히 멀리 떨어진 지점에서 인지하여 중시선 축을 따라 항해할 수 있도록 하여야 한다.

② 항해자가 선박이 중시선 축에서 편류하는 경향 및 그러한 경향의 정도와 방향을 신속하게 인지할 수 있도록 하여야 한다.

③ 등화의 주기는 항상 두 등화를 동시에 관측될 수 있도록 동기화 한다.

④ 소형선박이 전도등을 후도등으로 오인할 수 있으므로 전도등의 등고를 너무 높지 않도록 하여야 한다.

⑤ 등화를 주야로 이용할 경우 도등의 광도는 야간에 눈부심 방지를 위하여 주간 및 야간에 적합한 광도를 채택해야 한다.

Collection @ kmou

3.2.3 Transit Line의 등화

1) 등화의 일반요건

① 이용구간 내에서 각 등화에 대한 항해자의 각막조도는 최소 $1\times10^{-6}lx$이상이여야 한다.

② 이용구간 내에서 두 등화에 대한 각막조도는 가능한 동일하여야 한다.

③ 접근구역 내에서 어느 곳에서든지 항해자의 각막조도는 $0.2\times10^{-6}lx$가 되어야 한다.

④ 이용가능구역에서의 각 등화에 대한 항해자의 각막조도는 $0.1lx$를 초과해서는 안 되며 배후지역이 너무 어두울 때는 $0.01lx$까지 줄여야 한다.

2) 등화의 분리(Separation of Lights)

도등의 이용가능구역의 어느 곳에서든지 항해자가 보는 두 등화의 수직각은 적어도 식 (1)로 구한 γm(radian) 값 이상이여야 한다.

$$\begin{aligned} &E_1 = E_2\ (*)1 \quad \text{일 때} \quad \gamma_m = (2.4+0.2Log\,E^+)\times10^{-3} \\ &\left|Log(E_1/E_2)\right| = 1(*) \quad \text{일 때} \quad \gamma_m = (2.6+0.16Log\,E^+)\times10^{-3} \\ &\left|Log(E_1/E_2)\right| = 2(*) \quad \text{일 때} \quad \gamma_m = (3.32+0.08Log\,E^+)\times10^{-3} \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, $E_1 = E_2$: 각 전후도등에 대한 항해자의 각막조도(lx)

E^+ : 이들 두 값 중 큰 값

최종 광도를 채택하기 전에 적합한 Transit Light의 위치를 사전 조사하는 경우에는 식 (2)의 값을 기초로 하여야하며 그 값은 약 5′ 의 호 값이다.

$$\gamma_m = 1.5\times10^{-3}radians \tag{2}$$

Collection @ kmou

3) 감도(Sensitivity)

① 관측자가 두 등화가 일직선상에서 수직으로 있다고 인식할 때, 두 등화가 이루는 수평분리각의 표준편차는 식 (3)을 사용하여 계산한다.

$$\theta_Q = (\text{괄호안의 두 숫자 중 큰 값})(\theta_1, \theta_2) \quad (3)$$
$$\gamma \le 5\times10^{-3} radian \text{ 일 때 } \theta_1 = 0.05\times10^{-3} + 0.038\gamma$$
$$5\times10^{-3} \le \gamma \le 20\times10^{-3} radian \text{ 일 때 } \theta_1 = 0.1\times10^{-3} + 0.028\gamma$$
$$\theta_2 = 0.07\gamma_m$$

여기서, θ_Q 수평분리각의 표준편차

θ_1 θ_Q의 계산에 이용되는 중간 값으로 ϒ의 함수

θ_2 θ_Q의 계산에 이용되는 중간 값으로 ϒm의 함수

γ 수직분리각(radian으로 측정한 두 등화의 앙각차)

γ_m 최소의 수직분리 각(radian)

② 관측자가 도등의 도선 축으로부터 벗어나지 않고 방향을 찾을 수 있는 두 등화의 최소 수평분리각은 식 (4)와 같이 계산한다.

$$\theta_Q = (\text{괄호안의 두 숫자 중 큰 값})(\theta'_1, \theta'_2) \quad (4)$$
$$\gamma \le 5\times10^{-3} radian \text{ 일 때 } \theta'_1 = 0.16\times10^{-3} + 0.12\gamma$$
$$5\times10^{-3} \le \gamma \le 20\times10^{-3} radian \text{ 일 때 } \theta'_1 = 0.31\times10^{-3} + 0.09\gamma$$
$$\theta'_2 = 0.224\gamma_m$$

여기서, θ_Q 수평분리각의 표준편차

θ'_1 θ_Q의 계산에 이용되는 중간 값으로 ϒ의 함수

θ'_2 θ_Q의 계산에 이용되는 중간 값으로 ϒm의 함수

γ 수직분리각(radian으로 측정한 두 등화의 앙각차)

γ_m 최소의 수직분리 각(radian)

③ 선박의 형태나 항해조건을 고려하여 설치된 도등의 축선은 항해자가 관측하여 다른 각도로 이탈하여 보이는 지점(식 (5)에 얻어지는 radian값)까지

Collection @ kmou

선박을 안전하게 유도하여야 한다.

$$\theta_Q = (\text{괄호안의 두 숫자 중 큰 값})(\theta''_1, \theta''_2) \quad (5)$$
$$\gamma \leq 5\times10^{-3} radian \text{일 때 } \theta''_1 = 0.25\times10^{-3} + 0.19\gamma$$
$$5\times10^{-3} \leq \gamma \leq 20\times10^{-3} radian \text{일 때 } \theta''_1 = 0.5\times10^{-3} + 0.14\gamma$$
$$\theta''_2 = 0.35\gamma_m$$

여기서, θ_Q 수평분리각의 표준편차

θ''_1 θ_Q의 계산에 이용되는 중간 값으로 ϒ의 함수

θ''_2 θ_Q의 계산에 이용되는 중간 값으로 ϒm의 함수

γ 수직분리각(radian으로 측정한 두 등화의 앙각차)

γ_m 최소의 수직분리 각(radian)

④ 주간에 사용하는 도등은 야간에 비하여 광도를 2000~5000배로 증가시켜야 한다는 것을 제외하고는 야간 도등과 마찬가지로 설계하여야 한다.

3.2.4 Transit Line 설계 요소

1) 각막조도(Illuminance at the eye)

IALA 권고서에서 등화는 항해사의 눈으로 적어도 $1\times10^{-6} lux$와 같은 광도를 제공해야 하고, 등화는 이용가능 수역 내에서 등화를 보는 동안 가능하면 거의 같을 수 있어야 하며, 등화신호의 각막조도는 식 (6)에 의해서 주어진다.

$$E = Id^2(0.05)^{d/v} \quad (6)$$

여기서, E 는 각막조도(lux)

I 는 광도(cd:칸델라)

d 는 등화로부터 항로의 시작점까지의 거리(m)

V 는 시정(m)

Collection @ kmou

야간에 등화의 최소 강도는 식 (7)과 같이 풀어서 계산할 수 있다.

$$I = (E\,d^2)/(0.05^{D'/V'}) \quad (7)$$

여기에서 I 는 광도(cd:칸델라)

E 는 각막조도(lux)

d 는 등화로부터 항로의 종단까지의 거리(m)

D' 는 등대에서부터 항로의 종단까지의 거리(항해마일)

V' 는 시정(항해마일)

강도의 한계값(E)은 배후광이 존재하는 야간에 증가하게 된다. 강도는 배후광이 없을 때 최소가 되고, 배후광의 여건에 따라 1, 10, 100의 계수로 각각 곱하여 산출하고 주간에 등화를 사용할 경우 강도의 한계 값(E)에 곱한 값은 1000으로 설정한다. 또한 제시한 최소강도보다 더 낮은 강도 수치는 사용할 수 없는 것으로 추정한다.

2) 이용구간에서의 조도의 균등

항해사의 눈에서 광도를 볼 때 항로구역 내에서 두 등화의 광도는 가능한 같아야 하며, 이를 위하여 전도등과 후도등 사이의 제안한 강도비가 필용하다. Allard의 법칙(식 (8))은 이상적인 광도 비율을 결정하는데 사용된다.

$$I = (E d^2)/(0.05)^{D'/V'} \quad (8)$$

여기에서, I 는 광도(cd:칸델라)

E 는 각막조도(lux)

d 는 등화로부터 항로 시작점까지의 거리(m)

D' 는 구조물에서부터 항로 시작점까지의 거리(항해마일)

V' 는 시정(항해마일)

Collection @ kmou

일 때, 그리고 투과율과 시정이 $T=0.05^{1/V}$(시정 10마일일 경우 T=0.74)로 표현한 것과 관련이 있기 때문에 강도를 치환하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$I=(Ed^2)/T^D$

여기에서, I 는 광도(cd:칸델라)

E 는 각막조도(lux)

T 는 투과율

d 는 등화로부터 항로 시작점까지의 거리(m)

또한 두 등의 조도가 같도록 디자인되었다면(예를 들어, $E_R=E_F=E$) 식 (9)를 이용하여 계산한다.

$$I_R/I_F=((D_R^2\times E)/T^{DR})/((D_F^2\times E)/T^{DF}) \quad (9)$$
$$I_R/I_F=(D_R^2\times T^{DR})/(D_F^2\times T^{DF})$$

여기에서 I_R/I_F 는 강도 비율

D_R 는 후도등에서부터 항로의 중간점까지의 거리(NM)

D_F 는 전도등에서부터 항로의 중간점까지의 거리(NM)

T 는 투과율

E 는 강도(계수제외)

공식은 항로의 중간점에서 똑같은 조도를 만들어내기 위한 이상적인 강도비율을 결정한다. 추가적인 계산은 비율이 2:1을 초과하지 않도록 하기 위해 항로의 시작점인 종단에서 이루어져야 한다.

3) 등화의 분리

등화의 분리에 표시되는 E_1/E_2에 관한 값은 그래프에 의한 산출이나 식 (10)에 의해 구할 수 있다.

Collection @ kmou

$$\gamma_m = [2.4 - 0.06 \times |Log(E_2/E_1)| + 0.26 \times |Log(E_2/E_1)^2| + LogE^+ \times (0.2 - 0.02 \times |Log(E_2/E_1)| - 0.02 \times |Log(E_2/E_1)^2|)] \times 10^{-3} \quad (10)$$

여기에서, E_2/E_1 는 강도비

E^+ 는 전도등 또는 후도등 중 최고 강도

γ_m 는 수직간 거리(밀리 라디안)

4) 수직 분리각

R만큼 떨어진 두 등화의 수직각 γ는 기본수준면 상의 전도등과 후도등의 높이가 각각 H_1과 H_2이고 관측자로부터 x만큼 떨어져 있을 때 식 (11)에 의해 산출할 수 있다.

$$\gamma = \frac{H_2 - b - c - 6.75 \times 10^{-8}(x+R)^2}{(x+R)} - \frac{H_1 - b - c - 6.75 \times 10^{-8} \times x^2}{x} \quad (11)$$

위의 식은 관측자로부터 d 만큼 떨어진 곳의 수평안고차(dip of the horizon) z를 등대표에 있는 것처럼 $6.75 \times 10^{-8} d^2$이라고 가정하고 식 (12)와 같이 간략하게 정리할 수 있다.

$$\gamma = \frac{H_2 - b - c}{x+R} - \frac{H_1 - b - c}{x} - 6.75 \times 10^{-8} \times R \quad (12)$$

$-6.75 \times 10^{-8} \times R$ 은 지구의 곡률에 의한 보정 값이고, 관측지점간의 거리의 함수이며, 등화의 분리 조건은 $\gamma \geq \gamma_m$이다.

여기에서, H_2 는 평균저조에서 후도등 표체높이(m)

H_1 는 평균저조에서 전도등 표체높이(m)

b 는 MLW기준 안고(m)

c 는 평균조차(m)

Collection @ kmou

x 는 전도등에서 관측자까지 거리(m)

R 는 전후도등 간 거리(m)

위의 식은 장애물에 의해 차폐의 영향을 받지 않는다는 조건을 포함하고 있으며, 만약 등화의 차폐구간이 발생하는 경우 식 (13)으로 표현할 수 있다.

$$\frac{H'' - b - c}{u + S} - \frac{H' - b - c}{u} - 6.75 \times 10^{-8} \geq 0 \quad (13)$$

여기에서 u 는 관측자와 장애물의 수평거리

H' 는 장애물의 높이

H'' 는 장애물에 의해 차폐되는 등화의 기준수면상 높이

S 는 등화가 차폐되는 장애물과 등화사이의 수평거리

5) 축 이탈거리

축 이탈 거리는 항해사가 선박이 확실하게 항로 중심선에 있지 않다는 사실을 감지한 위치에서 측면거리로 IALA 권고서에 명시된 식 (14)를 참고하였다.

$$Y_D = \theta_D \times (1 + \frac{x}{R}) \quad (14)$$

여기에서, Y_D 는 수직축 이탈거리(m)

θ_D 는 안전하다고 탐지하는 수평분리각(radian)

x 는 전도등에서 관측자까지 거리(m)

R 는 전후도등 간 거리(m)

최소로 권고되는 항로폭의 반절 Y_m은 최소의 수평분리각이 θ_m이면 식 (15)와 같이 구할 수 있다.

Collection @ kmou

$$Y_m = \theta_m (1 + \frac{x}{R}) \quad (15)$$

여기에서, Y_m 는 수직축 이탈거리(m)

θ_m 는 안전하다고 탐지하는 수평분리각(radian)

x 는 전도등에서 관측자까지 거리(m)

R 는 전후도등 간 거리(m)

3.3 시스템 설계 국제기준

3.3.1 Transit Line 설계

1) 평면도 구성

Transit Line을 설계함 있어서 필요한 구성 요소는 거리, 항로폭, 전후 등화간 거리, 항해자의 안고 등이 있는데, 구성요소를 평면도에 표현하면 설계에 유용하게 활용할 수 있다.

Transit Line의 평면도는 아래 그림<Fig. 92>과 같으며 설계를 위한 여러 가지 변수를 정의하고 있다.

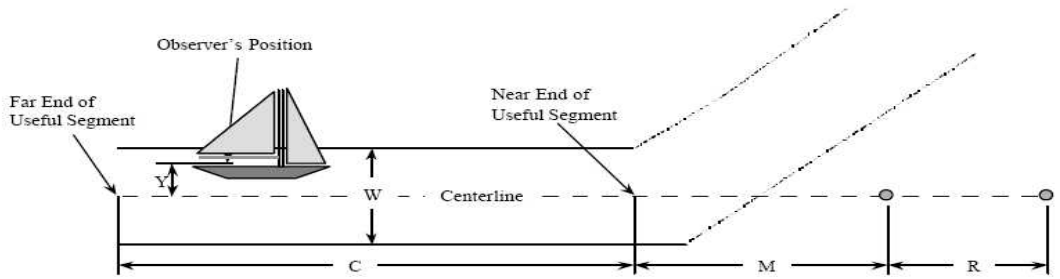


Fig. 92 Plan view of a Transit Line

Collection @ kmou

위 평면도에서 나타낸 변수에 대한 설명은 다음과 같다.

C = Length of useful segment (channel length)

W = Channel width

M = Distance to front structure from near end of useful segment

R = Distance between transit line structures

Y = Distance of observer from center line of channel

2) 측면도

<Fig. 93>은 Transit Line 구조의 측면도면으로 구조물의 높이는 평균고조(M.H.W)를 기준으로 나타낸다.

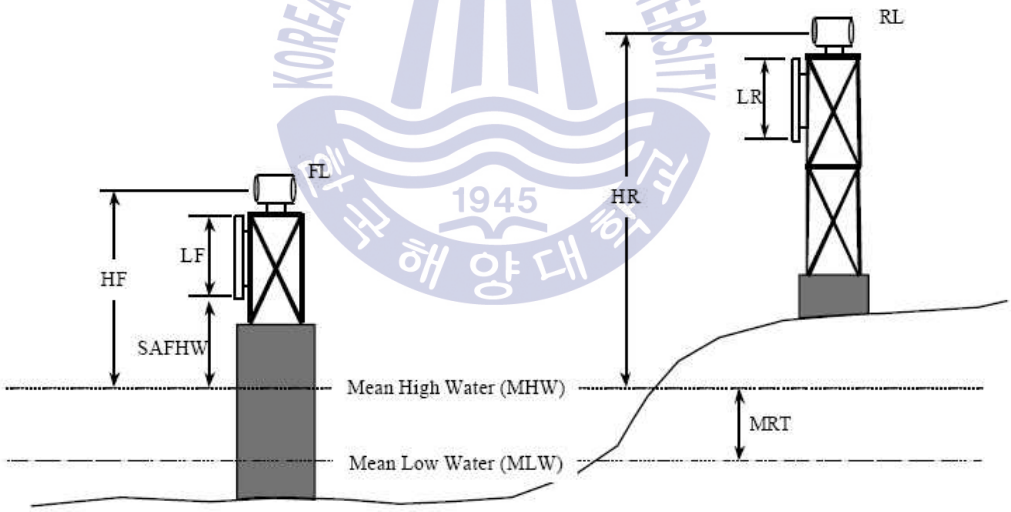


Fig. 93 Side view of Transit line structure(towers)

위 측면도에서 나타낸 변수에 대한 설명은 다음과 같다.

FL = Front Transit Light

Collection @ kmou

RL = Rear Transit Light

LF = Length of Front Leading Mark

LR = Length of Rear Leading Mark

HF = Height of Front Tower (above M.H.W)

HR = Height of Rear Tower (above M.H.W)

SAFHW = Safe Height above water

MRT = Mean Range of Tide

3) 정면도

<Fig. 94>는 통항로 Transit Line의 오른쪽에 위치해 있는 선박으로부터 보이는 구조물 정면도이며, 관측자가 보는 등화에 의해 생기는 수평각(θ)과 수직각(γ)을 나타낸다.

Collection @ kmou

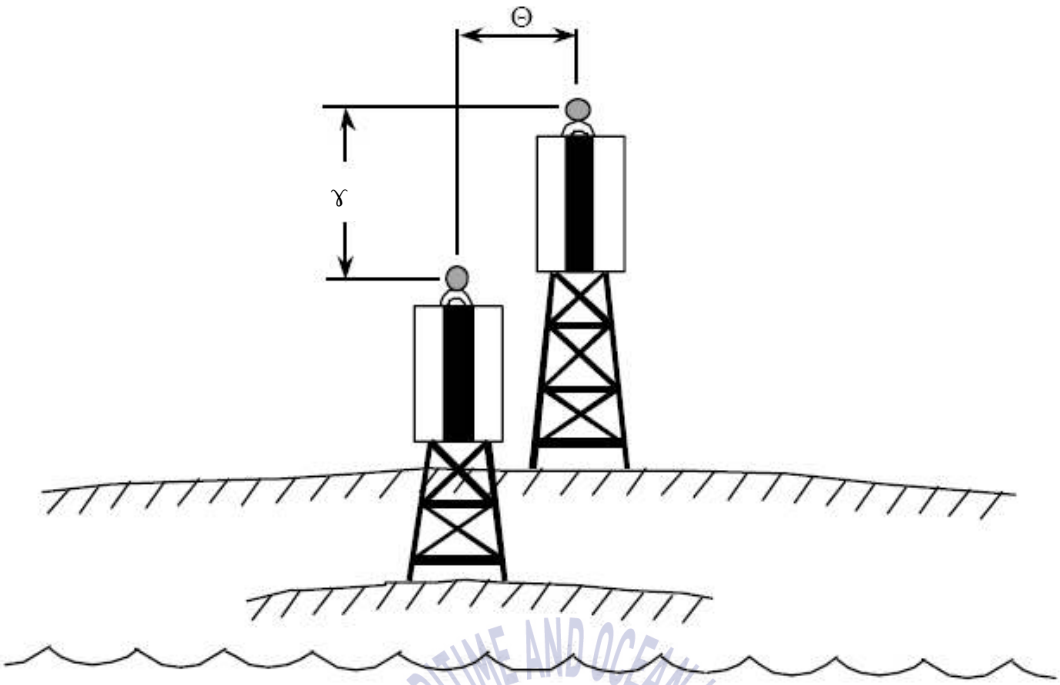


Fig. 94 Front view of Transit Line structures

위 측면도에서 나타낸 변수에 대한 설명은 다음과 같다.

θ = Bearing difference between the Transit Lights

γ = Elevation difference between the Transit Lights

3.3.2 항로의 길이

Transit Line을 설계함에 있어 최종 목표는 Transit Line에 의해 정의되는 항로의 이용 구역을 결정하는 것이다. 일반적으로, 후방 등화 또는 물표는 정면 구조물 위에서 분명하게 보일 수 있도록 충분하게 높이여야하기 때문에 긴 항로를 제공하기 위한 Transit Line을 만드는 것은 비용이 많이 들어간다. 또한 유도 표지는 항로의 시작점에서도 충분히 식별할 수 있도록 커야만 한다.

위의 두 가지 조건으로 인하여 항로가 긴 경우 후방의 구조물의 높이를 증가시키는 결과를 가져오며, 구조물은 풍압력에 유도표지를 충분히 지지할 수 있

Collection @ kmou

도록 견고해야만 한다. 따라서 다른 안전표지시설인 비콘 혹은 부이를 사용함으로써 Transit Line에 의해 표시되는 항로의 비율을 줄임에 따라 수로를 표시하는 전반적인 비용을 줄일 수 있다.

3.3.3 수직이탈거리(Off-Axis Distance)

수직 이탈 거리는 관측자 위치가 Transit Light가 수직의 일렬 상태가 아니라는 것을 확실하게 인지할 수 있는 중앙선으로부터 떨어져있는 수직거리이다. Transit Line의 설계는 안전성을 가진 항로를 항해하기 위하여 수직 이탈 거리와 항로 끝단 사이에 선박의 형태와 항해 상황에 따라 일어 날 수 있는 다양한 한계들을 사전에 예비할 수 있도록 충분한 여유가 있어야 한다.

<Fig. 95>에서 항로로 표시된 구역에서 여백 부분에서는 두 등화가 수직 일렬 상태가 아님을 확실하게 인지할 수 있는 구역을 말한다.

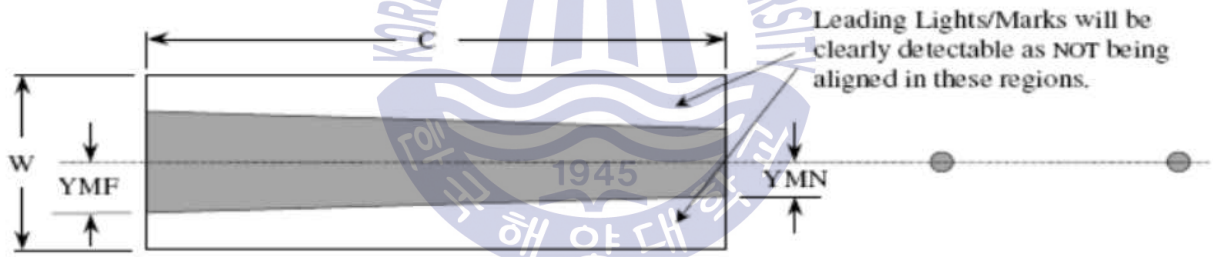


Fig. 95 Off-axis distance of a Transit Line

YMN = Off-axis distance at near end of channel

YMF = Off-axis distance at far end of channel

3.3.4 측면민감도(Lateral Sensitivity)

1) 수직 이탈 거리 비

IALA 도등에 관한 권고 수직이탈거리에 기초하여 방위차(θ_D)에 따라 수직이탈거리비를 산출한다. 수직 이탈 거리 비는 수로의 너비를 절반으로 나눈 수로

Collection @ kmou

중앙선에 선박이 없는 상황에서 항해자가 확실하게 인지할 수 있는 측면 거리에 관한 비로 정의되며, <Table 27>과 같이 퍼센트(%)로 등급을 나누고 있다. 수직 이탈 거리비 25%는 항해자가 중앙선을 벗어나 확실하게 인지할 수 있을 때 수로의 끝을 향하여 수로의 25% 가량 항해자가 떨어져 있다는 것을 가리킨다. 측면 민감도의 표식으로써 수직이탈거리비를 사용할 때 높은 수직이탈 거리비는 낮은 민감도를, 반대로 낮은 수직이탈거리비는 높은 민감도를 나타낸다.

Table 27 Cross-Track Factor

Values of Cross-Track Factor	Description	Interpretation
Over 75%	Not Acceptable	Range must be improved or it will be unworkable
50% - 75%	Poor	Decrease the cross-track factor if physically possible
30% - 50%	Fair	Decrease the Cross-track factor oly if moderate cost involved.
20% - 30%	Good	Decrease the cross-track factor only if little cost involved
15% - 20%	Very Good	Do not expend more funds to decrease the cross-track factor
10% - 15%	Excellent	The cross-track factor should not be less than 10% at the far end of the channel.

2) 허용되는 수직 이탈 거리 비의 값 산정

수직 이탈 거리비의 상한을 정하는 대신 설계자는 지나가는 선박의 수직이탈 거리비를 너무 적게 제한하면 지나가는 선박이 항행에 필요한 수역(nautical margin)의 가용성에 대한 위험성에 무게를 두어야 한다. 이것은 수직이탈 거리비가 적으면 지나가는 선박사이 충돌위험이 증가하는 결과가 초래하게 된다. 수직이탈 거리비가 가용항로의 시작점(Far End of Useful Segment)에 적절하면, 가용항로의 끝점(Near End of Useful Segment)의 수직 이탈 거리비가 작아지는 것으로 좋은 현상이다.

Collection @ kmou

가용항로의 시작점에 선회점에 표지가 있다면 항해자는 항로의 끝단으로 판단하고 적은 수직이탈 거리비에 관심을 두지 않게 되고, 적은 수직이탈 거리비에 문제가 있을 때, 설계범위는 가용항로의 시작점에서 동등한 수직이탈 거리비를 수정할 수 있으나 가용항로 끝점에서의 수직이탈 거리비는 작을 수 없다.

위와 같이 수직이탈 거리비를 조정하기 위해서는 가용항로 시작점에서부터의 구조물 뒷면의 범위를 이동시키고 항로의 끝점의 수직이탈 거리비인 M과 R의 거리를 조정함으로써 가용항로의 시작점과 끝점의 수직거리 이탈비를 조정하여 결정한다.

3) 가항 범위 설계 선택

일반적으로 수직 이탈거리의 비가 항로의 시작점과 끝점 사이에서 크게 차이가 나지 않기 때문에 가항 범위(수직 이탈거리의 비)가 좁을수록 더 좋은 서비스를 제공하게 된다. 또한 항해자의 시각에서 보이는 각각의 등화에서 나오는 조도는 항로 전체에서 거의 동등하지만 이러한 설계는 더 큰 주간표지, 더 높은 타워, 혹은 더 높은 광도를 요구할 수 있기 때문에 설계 시점에서 주어진 상황에 가장 적합한 설계를 선택해야 한다.

Collection @ kmou

3.4 시스템 설치

3.4.1 시스템 설치요건

통항이 곤란한 좁은 수로, 만 입구, 항구 등에서 선박을 안전하게 항로로 유도하기 위하여 항로의 연장선상의 육지에 설치된 고저차가 있는 등화를 갖춘 2기의 구조물로써,

① 가항수로를 표시

② 수로의 가장 깊은 흘수심을 표시

③ 조류로 인한 안전접근에 어려움이 있는 수역 등의 항해요건에 부합할 수 있어야 하며, 항해자가 안전하게 도착지에 이를 수 있도록 Transit Line을 설계하여 위험으로부터 충분히 먼 거리에서도 볼 수 있어야 한다.

뿐만 아니라, 대도심 또는 대형 항만에 접근 항로가 좁고, 선박 통항량이 많아 해상교통혼잡도가 열악한 항만이거나, 해양사고가 빈번한 수역에서는 선박 통항 안전을 위하여 설치할 필요가 있다.

또한 항해자는 이러한 관점에서 Transit Line과 항로 폭 및 방위로부터 편향되는 경향을 빨리 발견할 수 있도록 설계되어야 한다.

3.4.2 시스템 운영

현재 국내항에서 운영되고 있는 Transit Light는 국유시설 8개조, 사설 3개조가 운영되고 있으며, 그 각각의 등대표 내용 현황은 다음과 같다.

Collection @ kmou

1) 부산항 Transit Light

부산항도등은 <Table 28>과 <Fig. 96>에 나타난 바와 같이 부산항을 입출항하는 선박을 위하여 운영되고 있으며 등질은 FG이고 전등의 등고는 366m, 후등의 등고는 461m이고, 광달거리는 전후등 모두 25NM로 가항항로 거리를 초과하여 시인될 수 있도록 설계되었고, 두 등화의 방위각은 304.8 °이다.

Table 28 General Status of Busan Port Transit Lights

Name	Location	Char.	Elevation (m)	Visibility (NM)	Remark
Busan Port Leading Light (Front)	35-07.67N 129-01.55E	F G	366	25	Transit Light : 304.7
Busan Port Leading Light (Rear)	35-07.98N 129-01.02E	F G	461	25	

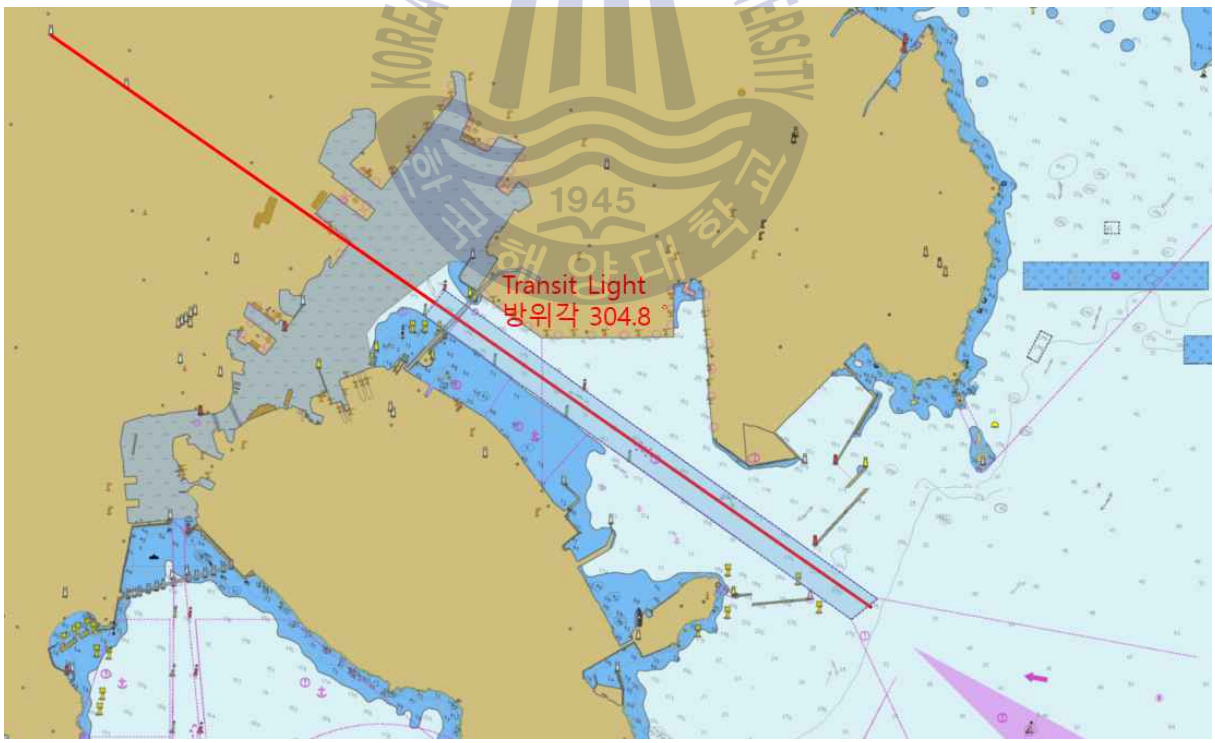


Fig. 96 Transit Light of Busan port

Collection @ kmou

2) 감천항 Transit Light

감천항도등은 <Table 29>과 <Fig. 97>에 나타난 바와 같이 감천항을 입출항하는 선박을 위하여 운영되고 있으며 등질은 FG이고 전등의 등고는 106m, 후등의 등고는 163m이고, 광달거리는 전후등 모두 23NM로 가항항로 거리를 초과하여 시인될 수 있도록 설계되었고, 두 등화의 방위각은 314.3 °이다.

Table 29 General Status of Gamcheon Port Transit Lights

Name	Location	Char.	Elevation (m)	Visibility (NM)	Remark
Gamcheon Port Leading Light (Front)	35-03.70N 128-59.62E	F G	106	23	Transit Light : 314.3
Gamcheon Port Leading Light (Rear)	35-03.99N 128-59.26	F G	163	23	

Fig. 97 Transit Light of Gamcheon port

Collection @ kmou

3) 부산항신항 내항 Transit Light

부산항신항내항도등은 <Table 30>과 <Fig. 98>에 나타난 바와 같이 부산항신항내항을 통항 하는 선박을 위하여 운영되고 있으며 등질은 FG이고 전등의 등고는 104m, 후등의 등고는 146m이고, 광달거리는 전후등 모두 24NM로 가항항로 거리를 초과하여 시인될 수 있도록 설계되었고, 두 등화의 방위각은 61.1 ° 이다.

Table 30 General Status of Busan New Port Transit Lights (Inner)

Name	Location	Char.	Elevation (m)	Visibility (NM)	Remark
Busan New Port(Inner) Leading Light(Front)	35-04.97N 128-49.68E	F G	104	24	Transit Light : 61.1
Busan New Port(Inner) Leading Light(Rear)	35-05.12N 128-50.02E	F G	146	24	Transit Light : 61.1

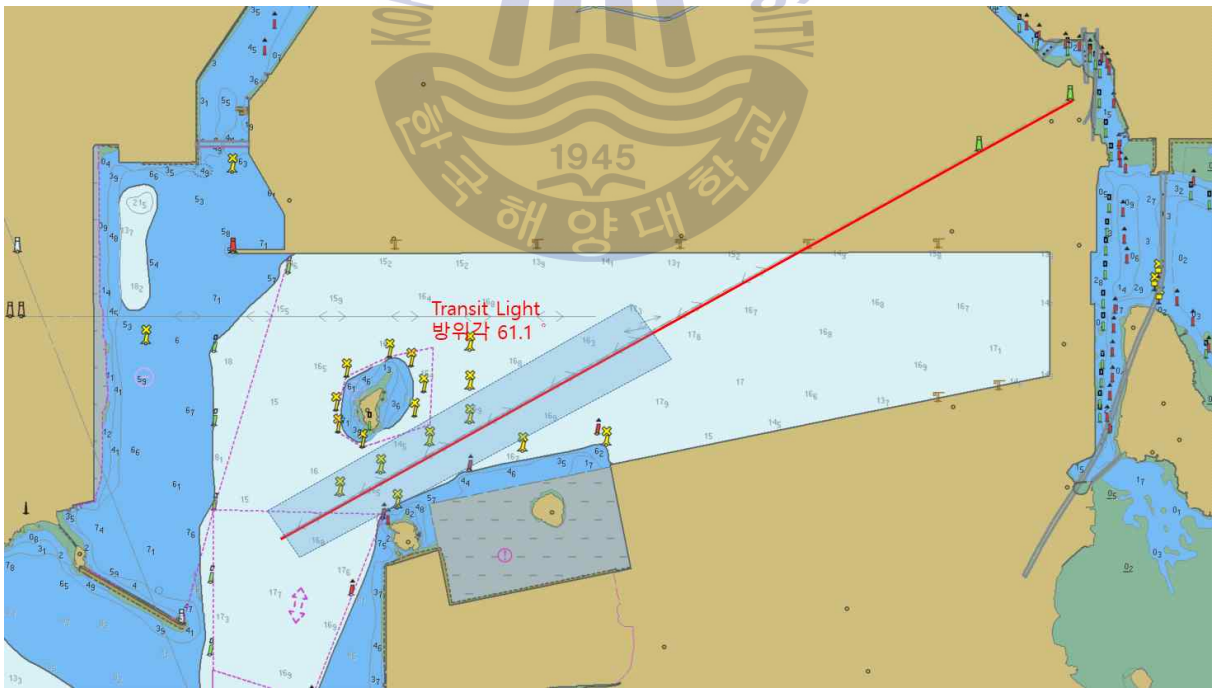


Fig. 98 Transit Light of Busan newport (Inner)

Collection @ kmou

4) 부산항신항 Transit Light

부산항신항도등은 <Table 31>과 <Fig. 99>에 나타난 바와 같이 가덕수도를 통항 하는 선박을 위하여 운영되고 있으며 등질은 FG이고 전등의 등고는 106m, 후등의 등고는 195m이고, 광달거리는 전후등 모두 39NM로 가항항로 거리를 초과하여 시인될 수 있도록 설계되었고, 두 등화의 방위각은 338.6 °이다.

Table 31 General Status of Busan New Port Transit Lights

Name	Location	Char.	Elevation (m)	Visibility (NM)	Remark
Busan New Port Leading Light(Front)	35-04.66N 128-46.07E	F G	106	39	Transit Light : 338.6
Busan New Port Leading Light(Rear)	35-05.77N 128-45.56E	F G	195	39	Transit Light : 338.6

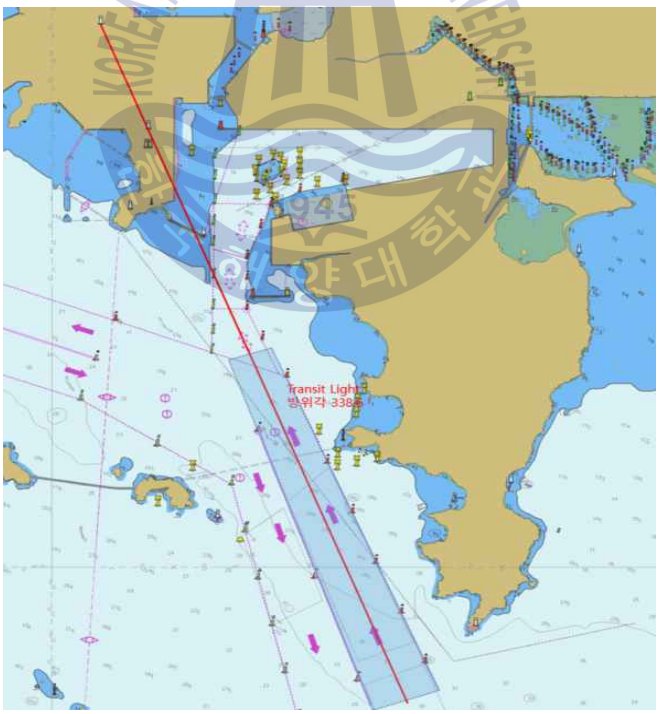


Fig. 99 Transit Light of Busan newport

Collection @ kmou

5) 부산항신항 송도 Transit Light

부산항신항송도도등은 <Table 32>과 <Fig. 100>에 나타난 바와 같이 부산항신항내항을 통항 하는 선박을 위하여 운영되고 있으며 등질은 FG이고 전등의 등고는 41m, 후등의 등고는 58m이고, 광달거리는 전후등 모두 23NM로 가항항로 거리를 초과하여 시인될 수 있도록 설계되었고, 두 등화의 방위각은 270 °이다.

Table 32 General Status of Busan New Port Songdo Transit Lights

Name	Location	Char.	Elevation (m)	Visibility (NM)	Remark
Busan New Port Songdo Leading Light(Front)	35-04.46N 128-46.10E	F G	41	23	Transit Light : 270
Busan New Port Songdo Leading Light(Rear)	35-04.46N 128-46.05E	F G	58	23	Transit Light : 270

Fig. 100 Transit Light of Busan New Port Songdo

Collection @ kmou

6) 포항신항 Transit Light

포항신항도등은 <Table 33>과 <Fig. 101>에 나타난 바와 같이 포항신항을 통항 하는 선박을 위하여 운영되고 있으며 등질은 FG이고 전등의 등고는 35m, 후등의 등고는 73m이고, 광달거리는 전후등 모두 14NM로 가항항로 거리를 초과하여 시인될 수 있도록 설계되었고, 두 등화의 방위각은 241.5 °이다.

Table 33 General Status of Pohang New Port Transit Lights

Name	Location	Char.	Elevation (m)	Visibility (NM)	Remark
Pohang New Port Leading Light(Front)	36-01.26N 129-25.43E	F G	35	14	Transit Light : 241.5
Pohang New Port Leading Light(Rear)	36-00.90N 129-24.66E	F G	73	14	Transit Light : 241.5

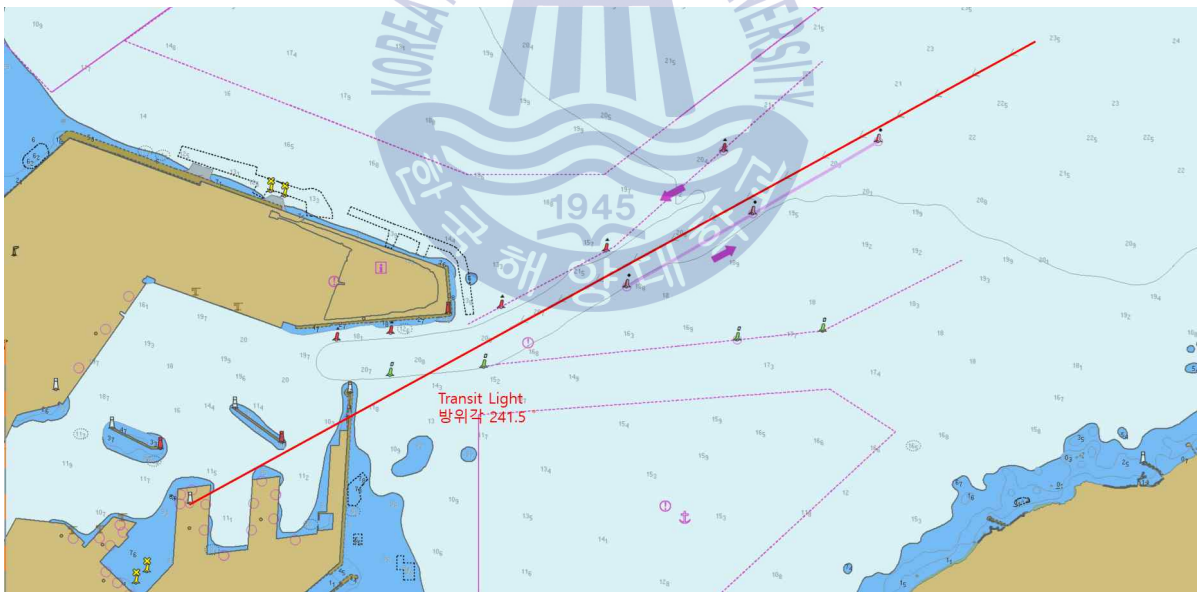


Fig. 101 Transit Light of Pohang newport

Collection @ kmou

7) 저진, 저도 Transit Light

저진도등과 저도도등은 <Table 34>과 <Fig. 102>에 나타난 바와 같이 저진항 인근에 설치되어 월선을 방지하기 위한 목적으로 설치되어 운영되는 특수한 항로표지시설이다. 저진도등의 등질은 FW이고 전등의 등고는 62m, 후등의 등고는 115m이고, 광달거리는 전후등 모두 24NM로 두 등화의 방위각은 270 °이다. 그리고 저도도등의 등질은 FG이고, 전등의 등고는 29m, 후등의 등고는 48m이고, 광달거리는 전후등 모드 5NM로 두 등화의 방위각은 270 °이다.

Table 34 General Status of Jeojin and Jeodo Transit Lights

Name	Location	Char.	Elevation (m)	Visibility (NM)	Remark
Jeojin Leading Light(Front)	38-33.16N 128-24.50E	F W	62	24	Transit Light : 270
Jeojin Leading Light(Rear)	38-33.16N 128-24.50E	F W	115	24	Transit Light : 270
Jeodo Leading Light(Front)	38-24.16N 128-23.52E	F G	29	5	Transit Light : 270
Jeodo Leading Light(Rear)	38-24.16N 128-23.11E	F G	48	5	Transit Light : 270

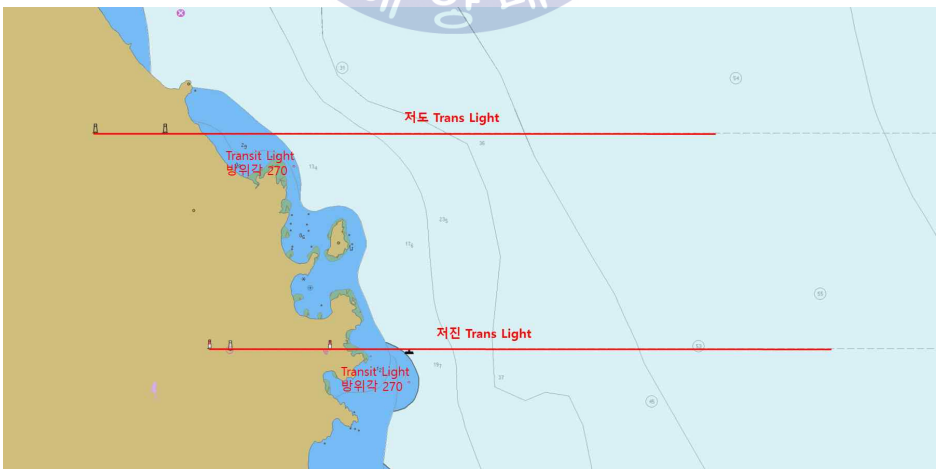


Fig. 102 Transit Light of Jeojin & Jeodo

Collection @ kmou

8) 연평도 Transit Light

연평도도등은 <Table 35>과 <Fig. 102>에 나타난 바와 같이 연평도를 통항 하는 선박을 위하여 운영되고 있는 Transit Light의 등질은 FG이고 전등의 등고는 10m, 후등의 등고는 25m이고, 광달거리는 전후등 모두 7NM로 가항항로 거리를 초과하여 시인될 수 있도록 설계되었고, 두 등화의 방위각은 333 °이다.

Table 35 General Status of Yeonpyeongdo Transit Lights

Name	Location	Char.	Elevation (m)	Visibility (NM)	Remark
Yeonpyeongdo Port Leading Light (Front)	37-39.48N 125-42.82E	F G	10	7	Transit Light : 333
Yeonpyeongdo Port Leading Light (Rear)	37-39.55N 125-42.77E	F G	25	7	Transit Light : 333

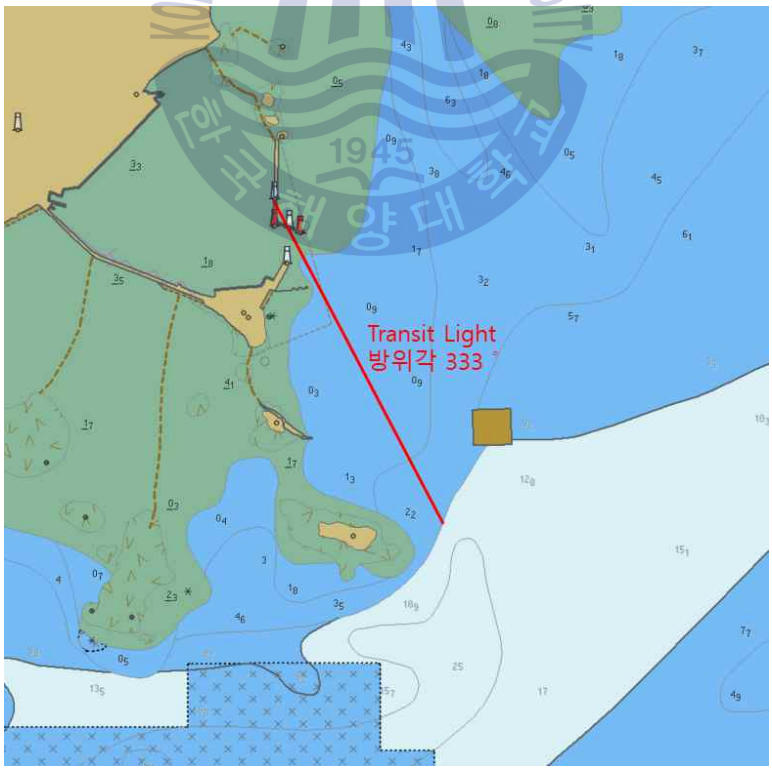


Fig. 103 Transit Light of Yeonpeongdo

Collection @ kmou

제 4 장 해상교통안전시스템의 Transit Line 평가모델

4.1 TRansit-line Assessment Model (TRAM)의 개발

제3장에서 언급된 바와 같이 Transit Line의 평가함에 있어서 주요 요소는 안전항로를 표시할 수 있는 중시선에 적합한지 여부를 확인할 수 있어야 하므로 등화의 각막조도와 등화의 수직분리, 그리고 축이탈거리를 인자로 설계를 하게 된다. 따라서 이러한 주요 요소들을 중심으로 Transit Line 해상교통 안전시스템 평가모델을 TRAM(TRansit-line Assessment Model)으로 정의하였다. <Fig. 104 참조>

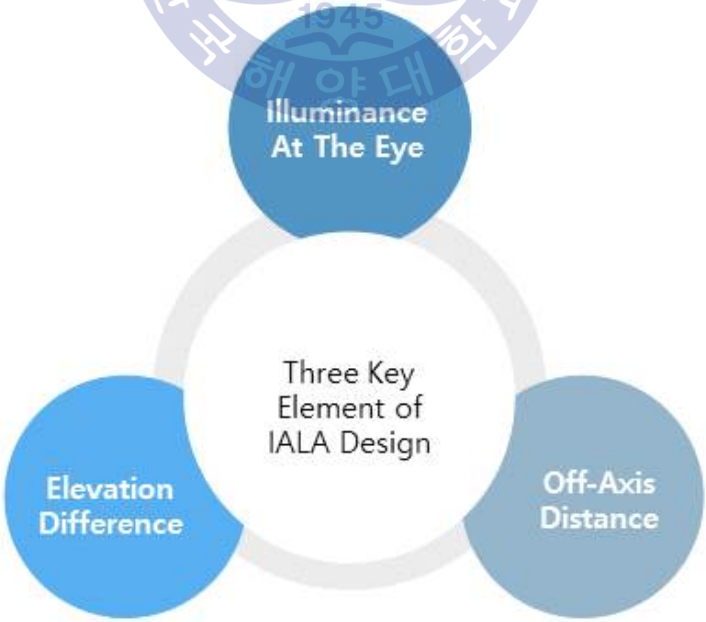


Fig. 104 Three Key Element of IALA Design

Collection @ kmou

따라서 TRAM의 수립을 위하여 Transit Line이 설치 목적에 부합할 수 있도록 설치되었는지 여부를 확인하기 위하여 다음 3가지 사항으로 평가를 할 수 있도록 하였다.

① 방위차에 의한 이탈거리

② 앙각

③ 축 이탈거리

이와 더불어 Transit Line 해상안전시스템의 필요성 및 효용성을 검토하기 위하여 다음 2가지 사항을 추가로 검토할 수 있다.

④ 해상교통용량 분석

⑤ Collision Risk Analysis

그러나 우리나라 Transit Light 운영 사례로 볼 때 설계 시 산출되는 최소 광도 및 권장 광도보다 월등한 광도를 제공하도록 설계되어 운영되고 있다. 그래서 시스템의 평가모델 수립에서는 3개의 설계요소 중 각막조도는 설계 시에 충분히 고려되어 있어서 만족하고 있으므로, 앙각검증을 통한 수직 분리와 축으로 부터의 이탈된 거리인 축이탈거리로 평가 될 수 있도록 평가요소를 설정하였다.

4.1.1 방위차에 의한 이탈거리(Bearing Difference Distance)

방위차에 의한 이탈거리를 확인하기 위하여 항로의 중심선인 중시선의 시작점과 끝점의 좌표와 전후도등의 좌표가 필요하다. 가용항로의 중시선의 기준이 되는 항로의 시작점과 끝점의 좌표를 이용하여 항로 중시선의 방위를 계산하고 전등과 후등의 위치와 비교하여 중시선의 방위에 부합하는지 여부를 판단해야 한다.

이용항로의 중시선 방위각을 기준으로 하여 전등과 후등이 각각 항로 중시선상에 위치하는지 여부를 확인하기 위하여 항로시작점과 전후 등화와 방위각과 항로 끝점과 전후도등의 등화와 방위각을 함께 계산하여 비교한다.

Collection @ kmou

예를 들어, 두 등화가 Transit Line 연장선상에 있지 않게 되면 두 등화의 연장선이 항로의 시작점과 끝점에서 Transit Line을 벗어나는 결과를 가져오게 되어 선박통항에 혼란을 야기할 수 있다. 따라서 <Fig. 105>에 나타난 바와 같이 Transit Line의 방위와 두 등화의 방위차에 따라 항로상에서 이탈하는 거리를 산출할 수 있다. 이 두 방위각이 일치하지 않게 되면 Transit Line의 연장선이 항로의 시작점을 통과하지 못하게 되고 항로 시작점과의 거리만큼 이탈하게 된다.

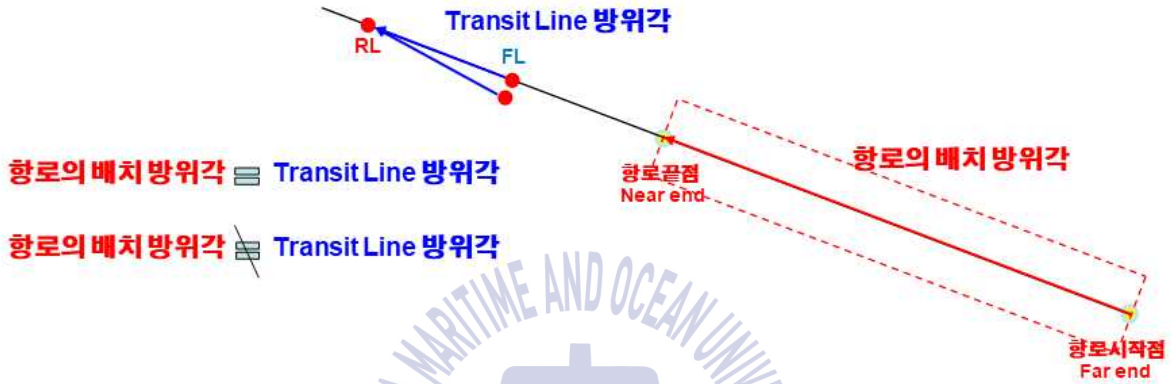


Fig. 105 Concept of Bearing Difference

방위차에 의해 발생하는 시작점과의 이탈거리와 항로폭의 1/2의 비율을 계산하여 그 대응 값에 따라 Transit Line의 배치평가를 식 (16)에 의해 산출하고 아래 <Table 36>과 같이 평가한다.

$$Bearing\,Difference\,Distance = \frac{2D}{W} \times 100(\%) \quad (16)$$

여기서, D는 방위차에 의한 시작점에서 수직이탈거리

W는 항로 폭

Collection @ kmou

Table 36 Bearing Difference Value

Values of Bearing Difference	Description
Over 75%	Not Acceptable
50% - 75%	Poor
30% - 50%	Fair
20% - 30%	Good
15% - 20%	Very Good
10% - 15%	Excellent

방위차에 의한 이탈거리를 계산하기 위하여 기준점의 좌표는 전자해도(ENC)를 데이터를 활용하고, 기준점은 가용항로의 시작점(Far End), 끝점(Near End), 전등(FL: Front Light) 그리고 후등(RL: Rear Light)의 좌표를 이용한다.

4.1.2 앙각(Elevation Angle)

식 (17)에서 계산된 값이 0보다 크거나 같을 경우 항해자는 등화의 수직분리를 인지할 수 있다고 말할 수 있고, 이용항로 전 구간 내에서 두 등화의 수직배치를 시인할 수 있어야 하므로 항로 끝점과 전등의 등고와의 앙각(θ_{FL})와 후등의 등고와의 앙각(θ_{RL})을 산출하여 $\theta_{FL} \leq \theta_{RL}$조건이 만족하는지 확인한다. <Fig. 106 참조>

앙각을 계산하기 위하여 기준점의 좌표는 전자해도(ENC)를 데이터를 활용하고, 기준점은 가용항로의 끝점(Near End), 전등(FL : Front Light) 그리고 후등(RL : Rear Light)의 좌표와 전후등의 등고를 이용하여 산출한다.

$$\tan^{-1}(\frac{\theta_{RL}}{M+R}) - \tan^{-1}(\frac{\theta_{FL}}{M}) > 0 \qquad (17)$$

여기서, θ_{FL}은 끝점에서 전등과의 앙각

Collection @ kmou

θ_{RL}은 끝점에서 후등과의 앙각

M 은 끝점에서 전등까지 거리

R 은 전등, 후등 두 등화간 거리

결과 값이 0보다 작을 경우 전등을 바라보는 앙각이 후등을 바라보는 앙각보가 크게 되어 전등을 후등으로 오인할 수 있다.

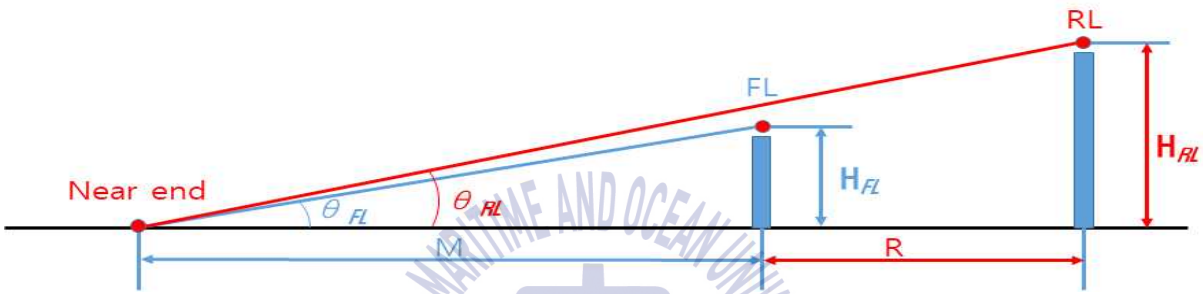


Fig. 106 At the point of near end, the elevation angle for front light and rear light

4.1.3 축이탈거리(Off-Axis Distance)

<Fig. 107>과 같이 축이탈거리는 앞서 언급한 바와 같이 관측자의 위치에서 Transit Light가 수직 일렬상태가 아니라는 것을 확실하게 인지할 수 있는 중앙선으로부터 떨어져 있는 수직 거리이다. 가용 항로 내에서 안전항해를 위해 식(18)을 이용하여 항로 시작점의 축이탈거리 산출이 필요하며 항로 폭과 연계한 Cross-Track Factor 값으로 Navigable Margin 검토 필요하다.

$$Off-Axis\ Distance \qquad (18)$$
$$y = \theta \times (1 + \frac{x}{R})$$

여기서, y는 축이탈거리(m)

Collection @ kmou

θ는 안전하다고 탐지하는 수평분리각(radian)

x는 전도등에서 관측자까지 거리(m)

R은 전후도등 간 거리(m)

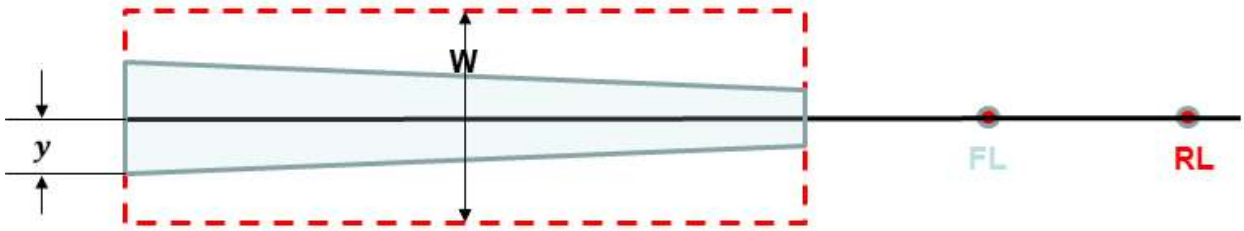


Fig. 107 Off-Axis distance of a Transit line

관측자가 전후등이 수직 일렬을 구분할 수 있는 지점에서 Transit Line과의 수직 거리이므로 축이탈거리와 항로폭의 1/2의 비율을 계산하여 그 대응 값에 따라 Transit Line의 배치평가를 아래 <Table 37>과 같이 한다.

Table 37 Cross-Track Factor Value

Values of Cross-Track Factor	Description
Over 75%	Not Acceptable
50% - 75%	Poor
30% - 50%	Fair
20% - 30%	Good
15% - 20%	Very Good
10% - 15%	Excellent

4.1.4 교통용량 분석

해상교통량 분석에서는 해상교통혼잡도로 평가할 수 있는데 항로가 수용할 수 있는 교통량을 평가하는 것을 의미한다. 즉, 항만의 입·출항 선박량을 조사하고, 이를 토대로 교통량을 계산하여 그 값이 허용 교통량 범위 내에 들어가는지 여부로서 교통혼잡도를 평가한다.

Collection @ kmou

선박의 조종 점용영역의 설정에서 선박의 운항자는 선박을 안전하게 항해하기 위해서 타 선박, 고정물표, 천수 등으로부터 일정한 거리를 유지하려고 노력하고 이 거리는 선박의 속력, 시정, 대상 위험물의 종류에 따라 달라진다. 이때, 선박을 조종하는 항해사가 일정한 거리를 지키려고 노력하는 영역을 선박의 조종 점용영역이라하고 이 영역은 선박이 타 선박의 점용영역과 중첩되지 않고 자선 주위의 수역 중 실제 점용하는 영역을 말하며, 충분한 수역에서 점용영역은 선박 진행방향으로 8L(L은 선박의 길이), 진행방향의 측면으로 3.2L로 계산하고, 좁은 수로나 항내에서는 선박의 진행방향으로 6L, 진행방향의 측면으로 1.6L을 점유하는 것으로 계산한다.

해상에서의 교통량은 항로 폭과 선속을 곱한 값을 후방점용영역의 면적으로 나누어 구하며, 식 (19)와 같다.

$$Q = \rho_{\max} W \cdot V \tag{19}$$

여기서, Q : 기본교통량(척/hr),

$\rho_{\max}$: 최대밀도,

W : 항로 폭(km),

V : 선속(km/h)

$\rho_{\max}$는 선속(V)의 함수이지만, 선속이 평균항해속력에 가까운 해역에서는 점용영역의 크기는 변화가 작기 때문에 $\rho_{\max}$=1/(LS)로 표현할 수 있다. 만약 아주 정확하게 타원형 영역모델을 완전히 항로에 넣는다면 1.15/(LS)가 되어 1/(LS)를 사용하여 다시 표현하면 대체적으로 식 (20)과 같아진다.

$$Q = \frac{1}{LS} W \cdot V \tag{20}$$

여기서, L : 점용영역의 장직경(km),

S : 점용영역의 단직경(km)

한편, 교통량은 기본 교통용량과 실용 교통용량으로 나눌 수 있으며, 기본 교

Collection @ kmou

통용량은 통상 항행조건에서 거의 같은 크기의 선박이 거의 같은 정도의 속력으로 일정폭의 직선 모양의 수로를 한 방향으로 단위 시간에 통과할 수 있는 최대 척수를 말하며, 실용교통용량은 치상상태의 출현빈도, 선박항행의 자유성, 해상교통사고의 예상 발생 수, 적용되는 교통관리 방식 등으로부터 정해지는 서비스 수준에서 정의 되는 교통용량으로 실제 허용가능 교통용량을 의미하며 실용 교통용량은 일반적으로 기본 교통용량의 1/4로 계산한다.

4.1.5 Collision Risk Analysis

충돌위험 분석 모델은 <Fig. 106>에 나타난 바와 같이 분자 가스 충돌의 예상 빈도를 설명하기 위해 개발된 가스 모델을 이용하였다. 특정 구역에 두 개의 분자 가스 그룹 i와 j가 있는데, 충돌은 이러한 분자 동그라미의 중첩입니다. 기체 분자 중 j그룹이 기하학적 충돌 직경 시간 상대 속도로 계산 된 영역에 존재하는 경우 이 지역에서의 충돌 위험으로 평가 될 것이다.

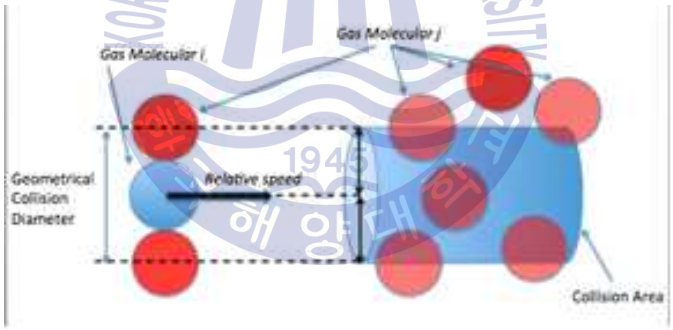


Fig. 108 Gas molecular collision calculation image

2 개의 선박 i와 j의 상대 속도의 크기는 식 (21)과 같이 계산 할 수 있다.

$$Vr_{ij} = (V_i^2 + V_j^2 - 2\,V_i V_j \cos\beta)^{\frac{1}{2}} \tag{21}$$

여기서, Vr_{ij}(knot)는 두 선박 i와 j의 상대속도

V_i, V_j는 두 선박 i와 j의 속도

Collection @ kmou

β(radian)은 두 선박 i와 j의 상대 각도

위험지역의 크기는 식 (22)와 같이 계산할 수 있다.

$$R.area = D_{ij} V_{ij} t \tag{22}$$

여기서, $R.area$는 위험구역

D_{ij}(mile)은 선박 i와 j의 기하학적 충돌 직경

t(hour)는 샘플링 시간

<Fig. 109>에 나타난 바와 같이 기하학적 충돌 직경은 대상 선박에 대한 "이동 범위 없음"의 직경이다.

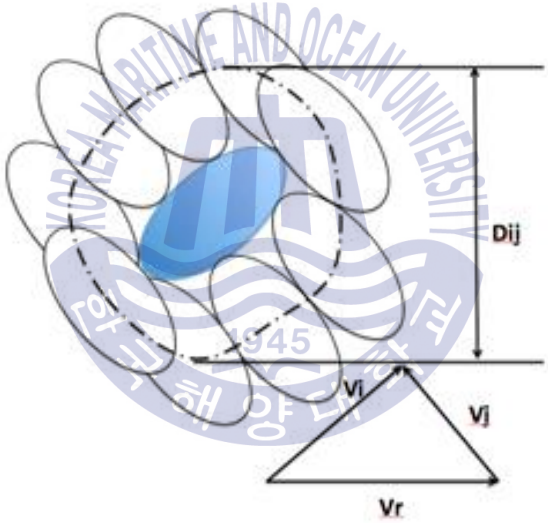


Fig. 109 The Geometrical collision diameter

Pedersen의 모델은 단순성과 잘 이해되었기 때문에 이 연구에 사용되었다 (1995). 최근, Montewka et al. (2010)은 기하학적 충돌 직경을 결정하기 위한 새로운 접근법을 설명하면서 두 선박 간의 거리가 효과적인 충돌 회피를 수행하기에 충분하지 않을 때 두 개의 선박 간의 충돌이 현실이 되는 것으로 가정하였고, 기하학적 충돌 직경이 설정되면 선박의 조종성이 포함된다. 그러나 현

Collection @ kmou

실적으로 각 선박의 조종성을 결정하는 데는 어려운 점이 있다.

Pedersen은 기하학적 충돌 직경을 식 (23)과 같이 정의하였다.

$$D_{ij} = \frac{L_i V_j}{V_{ij}} sin\theta + B_j \left\{ 1 - (\sin\theta \frac{V_i}{V_{ij}}) \right\}^{\frac{1}{2}} + B_i \left\{ 1 - (\sin\theta \frac{V_j}{V_{ij}}) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

여기서, D_{ij}는 기하학적 충돌 직경

L_i, L_j는 각 선박의 전장

B_i, B_j는 각 선박의 선폭

θ는 두 선박 i와 j의 상대 각도

총 위험 영역 크기는 해당 지역의 두 선박 및 해당 지역의 선박 밀도의 합계이며, 식 (24)로 계산할 수 있다.

$$Total\,R.area = \delta_{cell} \sum_{i=1} \sum_{j \neq i} D_{ij} V_{ij} t$$

$$\sum R.area = \delta_{cell} \sum_{i=1} \sum_{j \neq i} D_{ij} V_{ij} t \quad (24)$$

$$Total\,R.area = \delta_{cell} \sum_{i=1} \sum_{j \neq i} D_{ij} V_{ij} t$$

여기서, δ_{cell}은 각 단위 cell 당 선박 밀도

4.2 TRAM의 검증

4.2.1 부산항 도등시스템

앞 절에서 언급된 Transit Line 평가 모델인 TRAM을 검증하기 위하여 기존에 운영되고 있는 Transit Light 해상교통안전시스템을 운영 중인 부산항 북항을 샘플링 하여 검증 모델로 하였다.

1) Transit Line 해상교통안전시스템 설치항로

Collection @ kmou

○ 부산항 북항 제1항로

○ 항로 길이 약 5,546m

○ 항로 폭 약 350m

2) 부산항 Transit Light

<Table 38>과 <Fig. 110>에 나타난 것과 같이 Transit Line 설계 시 중요한 요소인 좌표 데이터는 전자해도(ENC)에서 추출한 데이터를 활용하였고 부산항을 입출항 하는 선박을 위하여 운영되고 있는 Transit Light의 등질은 FG이고 전등의 등고는 366m, 후등의 등고는 461m이고, 광달거리는 전후등 모두 25NM로 가항항로 거리를 초과하여 시인될 수 있도록 설계되었고, 두 등화의 방위각은 304.7 °이다.

Table 38 General Status of Busan Port Transit Lights

Name	Location	Char.	Elevation (m)	Visibility (NM)	Remark
Busan Port Transit Light (Front)	35-07.6717 N 129-01.5592 E	F G	366	25	Transit Light : 304.7
Busan Port Transit Light (Rear)	35-07.9783 N 129-01.0183 E	F G	461	25	

Collection @ kmou

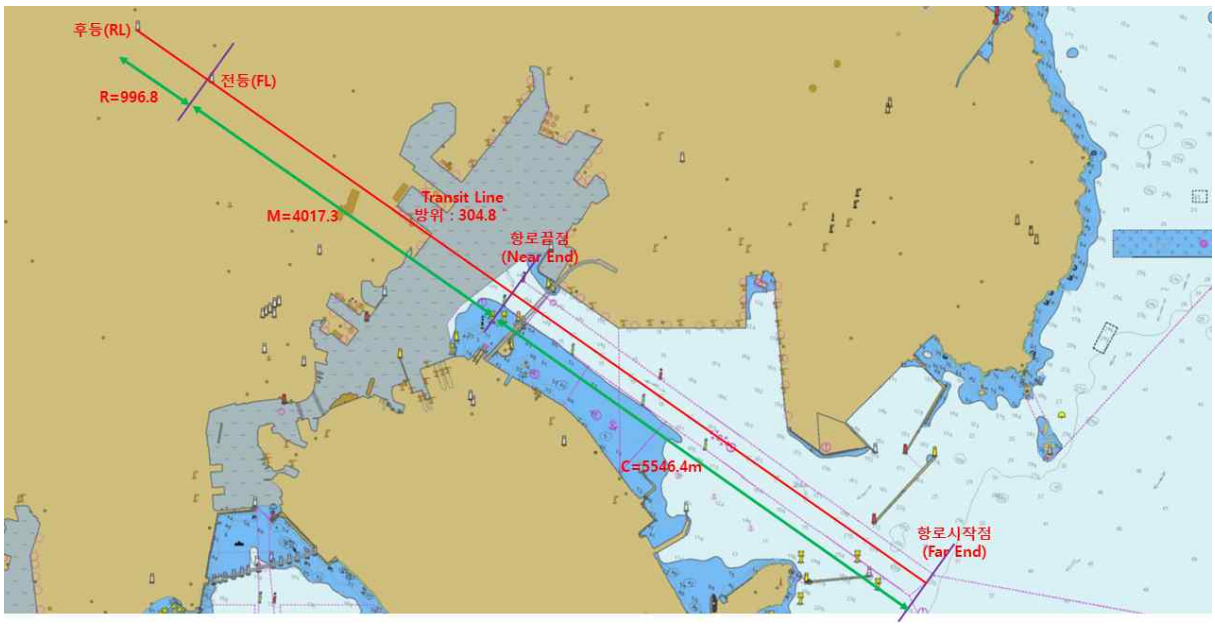


Fig. 110 Channel Layout of Busan Port Transit Line

3) 입출항 항로여건

일반적으로, 이용구간의 Transit Line 설정은 항로의 시작점에서 끝단의 법선까지 하고 이를 정확이 2등분하여 Centerline 개념으로 Transit Line을 설정하나, 부산항의 경우 양방향 통항에도 가능하도록 유도하기 위해 Centerline 시작점에서 입항선박 기준으로 오른쪽으로 약 47m정도 치우쳐 Transit Line을 설정하였다.

Transit Light의 포착구역 표시로 항로 입구 남동쪽에 위치한 통항분리대 기능의 부산항 유도등부표를 접근항로의 항행지표로 하고, 항로구간 내 돌출된 구조물은 북외항 방파제와 북내항 방파제가 존재하나 두 외곽시설에는 측방표지 기능의 방파제 등대가 설치 운영되고 있다.

이용구간 항로의 조류는 북외항 경계선 부근 수역에서 낙조류에서 1.2kts로 입항선박이 북외항 방파제를 통과할 때 세심한 주의가 필요한 항로이다.

Collection @ kmou

4) 등화 및 도표

<Fig. 111>에 나타난 바와 같이 등화와 도표는 일체형으로서 고광력 LED module(6×6의 Led 배열)이 25개로 구성되어 있으며, 그 크기는 3×5m로 훌륭한 시인성을 나타내고 있다고 평가되고 있다.

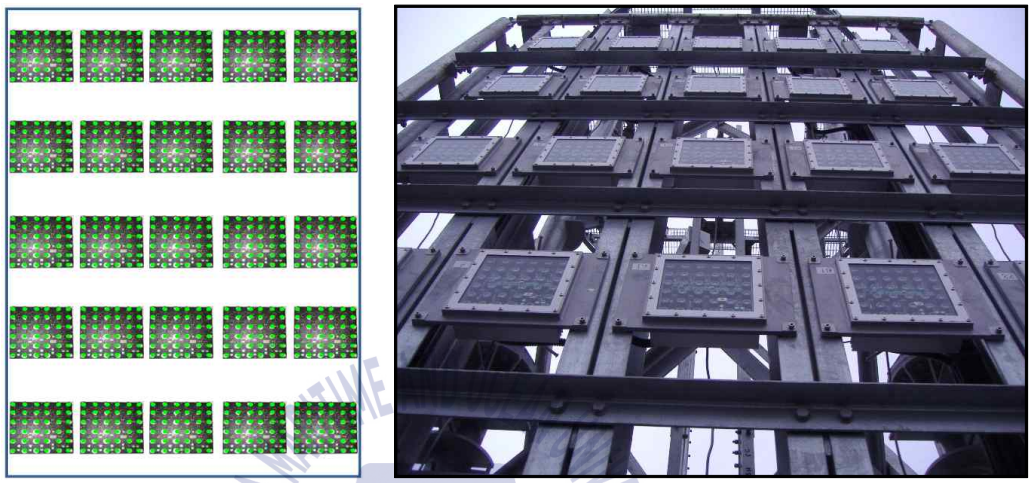


Fig. 111 Light and Daymark

<Fig. 112>에 나타난 바와 같이 등고는 평균해수면으로부터 등화 중앙까지의 높이를 말하며 등화 높이 계산 기준은 평균해수면으로부터 도등의 최하단까지의 높이를 이용한다.

Collection @ kmou

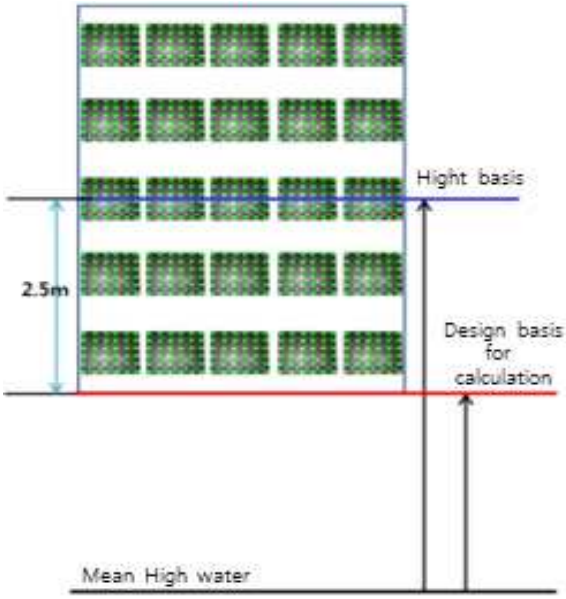


Fig. 112 Height of Light and Daymark

4.2.2 TRAM에 의한 검증

IALA Guideline 1023에 의하여 항로에 대한 초기 값을 입력하여 생성된 초기 항로배치 결과는 <Fig. 113>과 같다.

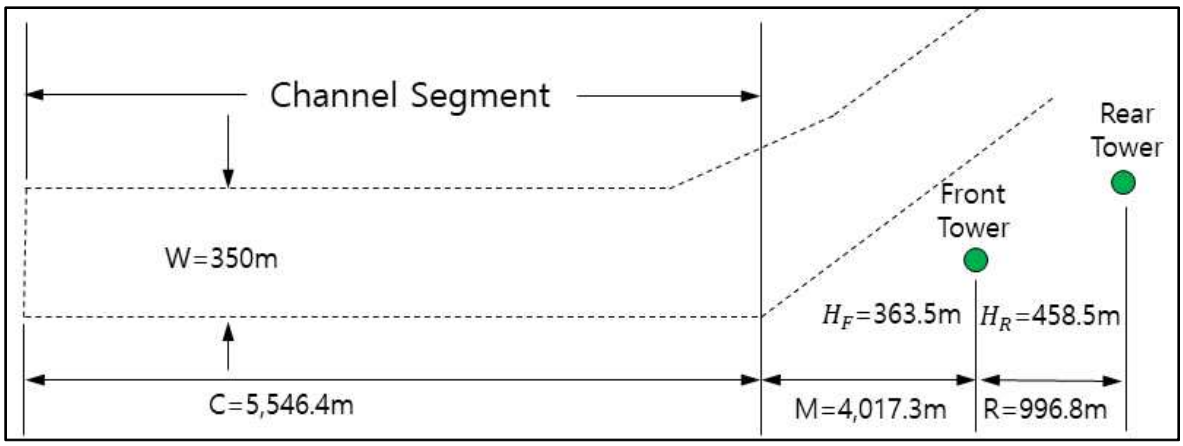


Fig. 113 Initial Channel Layout

Collection @ kmou

<Fig. 113>에서 도출된 결과를 전자해도상에 도식하면 <Fig. 114>와 같다. 여기에 도출된 결과를 토대로 TRAM을 이용하여 부산항 북항 Transit Line에 대한 검증을 하였다.

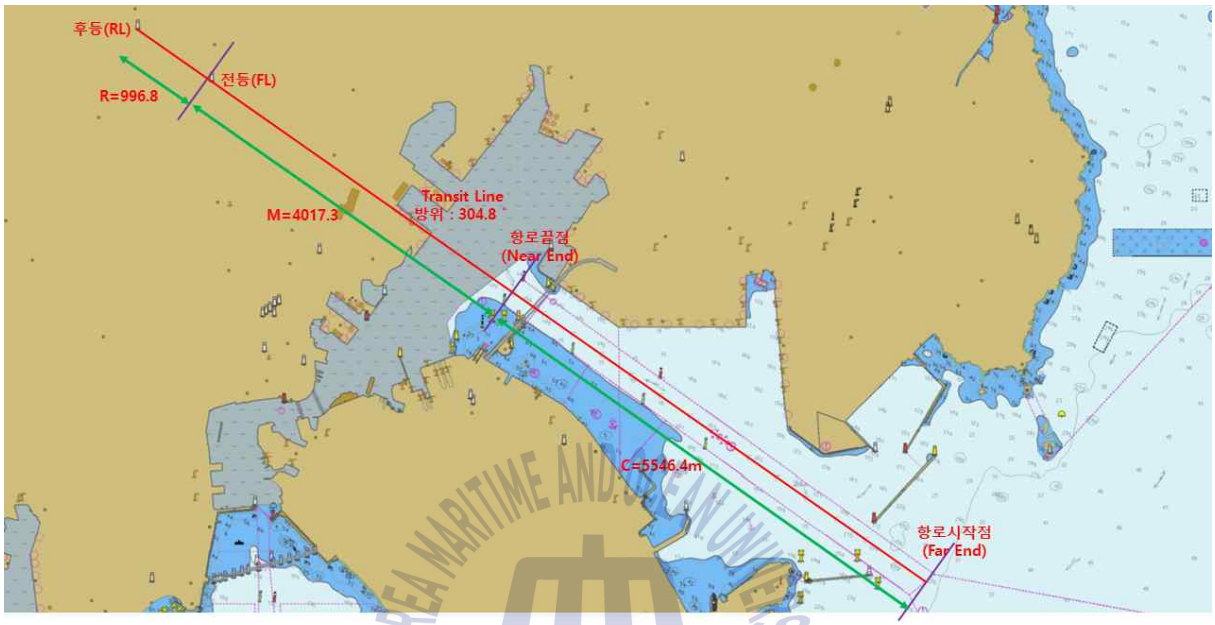


Fig. 114 Initial Channel Layout on ENC

1) 방위차에 의한 이탈거리(Bearing Difference Distance)

부산항 북항 접근항로 배치와 Transit Light의 배치간의 방위를 비교하여 등화가 정확하게 설치되었는지 여부를 확인해야 한다. 방위를 확인하기 위한 기준점으로는 부산항 북항 1항로의 중심선을 기준으로 하여 그 선상의 항로의 시작점(Far end)과 항로의 끝점(Near end)이 등화가 배치되어야 할 방위가 되고, 시작점과 전등, 후등과의 방위와 끝점과 전등, 후등과의 방위가 동일해야 항로 중앙선의 연장선상에 등화가 위치한 것으로 볼 수 있다.

방위 확인을 위한 기준점은 <Table 39>와 같고, 좌표는 전자해도에서 제공되는 데이터를 이용하였다.

Collection @ kmou

Table 39 Initial Point of Busan Transit Light

Initial Point	Distance from Far end(m)	Light Position (WGS-84)	Hight of Light (m)
Far end	0	35° 04.7087′ N 129° 06.728′ E	-
Near end	5546.417	35° 06.4274′ N 129° 03.7311′ E	-
Front Light	9564.644	35° 07.6695′ N 129° 01.55482′ E	363.5
Rear Light	10561.871	35° 07.9748′ N 129° 01.0189′ E	458.5

방위차의 기준은 항로 중앙선 시작점과 끝점과의 방위를 기준으로 하므로 두 점의 방위와 거리는 305.022 ° 이고 항로는 5,546.4m로 산출 되었다.

항로 중앙선의 시작점에서 전등과 후등 각각의 방위를 산출해 보면 <Table 40>과 같으며, 그 방위가 305.010 ° , 304.982 ° 로 위의 305.022 ° 와 약간의 차이가 있는 것으로 산출되었다. 또한, 항로 중앙선의 끝점에서 전등과 후등 각각의 방위를 산출해 보면, 305.004 ° , 304.947 ° 로 산출되었고, 전등과 후등의 방위는 304.724 ° 로 산출 되었다.

따라서 항로중앙선의 방위와 등화가 배치된 방위의 차가 약 0.3 ° 의 차이가 있으므로 부산항에 설치된 Transit Line 해상교통안전시스템은 부산항 1항로의 중앙선 시작점에서 입항선박 기준으로 오른쪽으로 약 47m 치우쳐져 Transit Line이 설정되었다.

Collection @ kmou

Table 40 Bearing and Distance between Initial Points

Point			Bearing (deg.)	Distance (m)
Far End	⇒	Near End	305.022	5,546.4
Far End	⇒	Front Light	305.010	9,564.6
Far End	⇒	Rear Light	304.982	10,561.9
Near End	⇒	Rear Light	305.004	4,017.3
Near End	⇒	Rear Light	304.947	5,014.3
Front Light	⇒	Rear Light	304.724	996.8

○ 방위차에 의한 이탈거리 평가

항로시작점에서 약 47m 되어 있으므로 항로폭의 1/2과 비교해 볼 때 26.9% 벗어나 <Table 37>에서 제시한 'Good' 에 해당된다.

2) 앙각(Elevation Angle)

두 등화의 수직분리를 인식하기 위한 앙각의 차는 항로 끝점에서 가장 작으므로 기준점은 항로 끝점이 되고 안고는 0m로 하고, 끝점 이외의 지점에서는 항상 끝점보다 앙각이 크므로 이 기준점에서 0보다 큰 값이 나오게 되면 만족하는 것으로 평가한다.

Table 41 Data for Calculation of Elevation angle

Element	M	R	H_{FL}	H_{RL}
Value	4017.3	996.8	363.5	458.5

Collection @ kmou

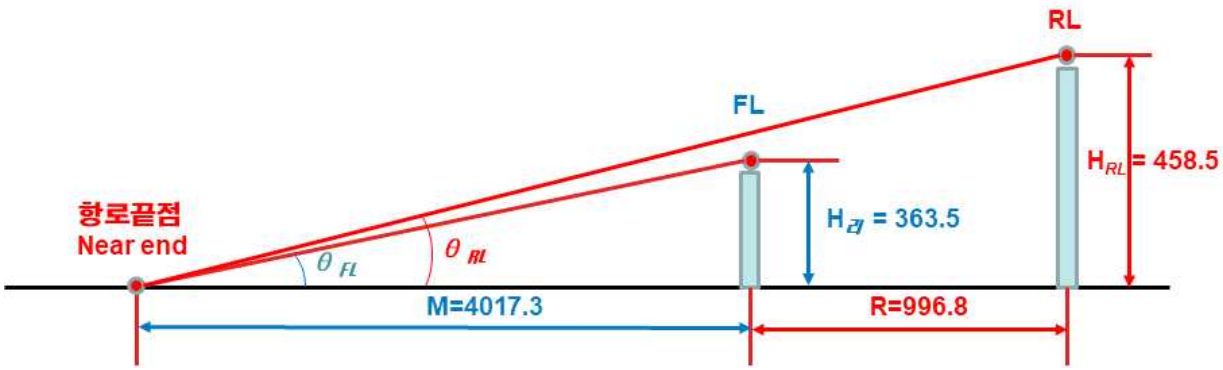


Fig. 115 Data for Calculation of Elevation angle

식 (25)에 <Table 41>의 요소별 값을 대입하여 결과가 0 보다 큰 값이 나오므로 <Fig. 115>에 나타난 것과 같이 항로 끝점에서 두 등화의 분리를 구분할 수 있는 것으로 판단된다.

$$\tan^{-1}\left(\frac{H_{RL}}{M+R}\right)-\tan^{-1}\left(\frac{H_{FL}}{M}\right)=0.00095>0 \quad (25)$$

3) 축이탈거리(Off-Axis Distance)

두 등화를 보는 관측자가 항로시작점부터 수직 일렬선상에 있는 것으로 인지하는 최대거리를 통항선박의 크기를 고려하여 안고를 5m, 15m, 30m로 구분하여 평가하였다. 축 이탈거리를 구하기 위해 필요한 데이터는 <Table 42>와 같으며, 개요는 <Fig. 116>와 같다.

Table 42 Data for Calculation of Off-Axis Distance

Element	C	M	R	H_{FL}	H_{RL}	안고
Value	5,546.4	4,017.3	996.8	363.5	458.5	5, 15, 30

Collection @ kmou

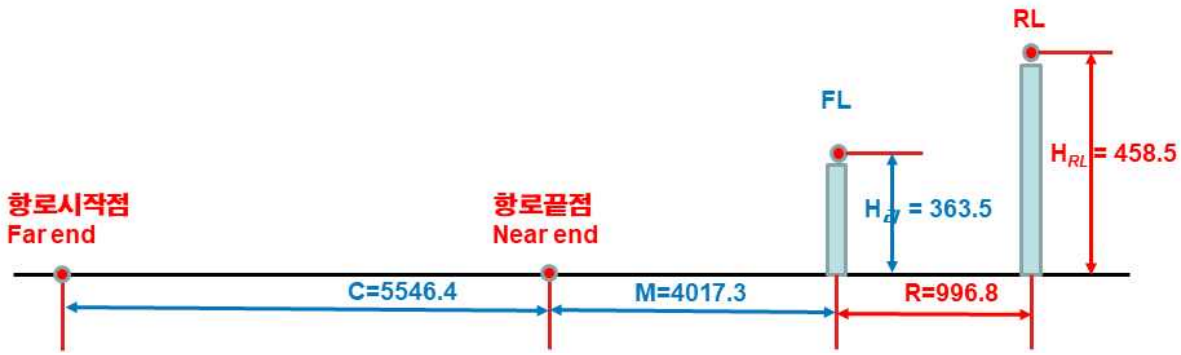


Fig. 116 Side view of Transit Line

계산 결과에 따라 안고 5m일 때 축 이탈거리와 비는 <Table 43>과 같다. 항로 시작점에서 끝점까지 축이탈거리는 9m~81m이고, 그 대응비율은 5%~46%로 조사되었고, 항로 끝점에서 Excellent로 평가되었고, 항로시작점에서 Fair로 평가 되었다.

Table 43 Off Axis Distance and Cross Track Factor (Height of eye : 5m)

Distance from Near End	Off Axis Distance(m)	Cross Track Factor	ϒ (mrad) (MLW)
5,232	81	46%	5.4
4,709	73	41%	5.5
4,186	65	37%	5.5
3,662	57	33%	5.5
3,139	49	28%	5.5
2,616	42	24%	5.4
2,093	35	20%	5.1
1,570	28	16%	4.7
1,046	20	12%	4.1
523	13	8%	3.0
0	9	5%	1.1

Collection @ kmou

계산 결과에 따라 안고 15m일 때 축 이탈거리와 비는 <Table 44>와 같다. 항로 시작점에서 끝점까지 축이탈거리는 9m~81m이고, 그 대응비율은 5%~47%로 조사되었고, 항로 끝점에서 Excellent로 평가되었고, 항로시작점에서 Fair로 평가 되었다.

Table 44 Off Axis Distance and Cross Track Factor (Height of eye : 15m)

Distance from Near End	Off Axis Distance(m)	Cross Track Factor	ϒ (mrad) (MLW)
5,232	81	47%	5.5
4,709	73	42%	5.6
4,186	66	37%	5.6
3,662	58	33%	5.7
3,139	50	29%	5.6
2,616	43	25%	5.6
2,093	36	21%	5.4
1,570	29	17%	5.0
1,046	22	12%	4.4
523	14	8%	3.3
0	9	5%	1.6

계산 결과에 따라 안고 30m일 때 축 이탈거리 및 이탈거리 비는 <Table 45>와 같다. 항로 시작점에서 끝점까지 축이탈거리는 9m~81m이고, 그 대응비율은 5%~47%로 조사되었고, 항로 끝점에서 Excellent로 평가되었고, 항로시작점에서 Fair로 평가 되었다.

Collection @ kmou

Table 45 Off Axis Distance and Cross Track Factor (Height of eye : 30m)

Distance from Near End	Off Axis Distance(m)	Cross Track Factor	ϒ (mrad) (MLW)
5,232	83	47%	5.6
4,709	75	43%	5.7
4,186	67	38%	5.8
3,662	59	34%	5.9
3,139	52	30%	5.9
2,616	44	25%	5.8
2,093	37	21%	5.7
1,570	30	17%	5.4
1,046	23	13%	4.9
523	16	9%	3.9
0	9	5%	2.4

4) 해상교통용량

부산항 북항 Transit Light를 이용할 수 있는 선박들을 조사하기 위하여 부산항 북항을 2016년 5월 20일 00:00부터 5월 22일 24:00까지 부산항 북항을 통항한 선박을 조사한 결과는 아래와 같다.

○ 선종별 해상교통량 분석 결과

조사 기간 동안 부산항을 통항한 선박은 <Table 46>에 나타난 바와 같이 총 451척으로 조사되었으며, 이 중 컨테이너선박이 126척(27.94%)로 가장 많은 비중을 차지하였다.

Table 46 Statistic of Inbound & Outbound Vessel (Ship’s Type)

Type	Fishing Boat	General Cargo	Tanker	Container	Passenger	Etc.	unknown	Total
No.	5	30	80	126	51	77	82	451
Ratio	1.11%	6.65%	17.74%	27.94%	11.31%	17.07%	18.18%	100%

Collection @ kmou

○ 톤수별 해상교통량 분석 결과

<Table 47>에 나타난 바와 같이 조사 기간 동안 통항선박의 톤수별 구분에서는 Unknown선박이 219척으로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 이들은 대부분 항내나 연안을 통항하는 소형선박인 것으로 조사되었다.

Table 47 Statistic of Inbound & Outbound Vessel (Ship' s Gross Tonnage)

GT	Under 100	100 ~500	500 ~1K	1K ~3K	3K ~5K	5K ~7K	7K ~10K	10K ~15K	15K ~20K
No.	0	30	14	17	34	19	65	5	21
Ratio	0.00%	6.65%	3.10%	3.77%	7.54%	4.21%	14.41%	1.11%	4.66%
GT	20K ~25K	25K ~30K	30K ~50K	50K ~60K	60K ~75K	75K ~100K	Over 100K	un-known	Total
No.	9	6	8	0	0	2	2	219	451
Ratio	2.00%	1.33%	1.77%	0.00%	0.00%	0.44%	0.44%	48.56%	100%

○ 해상교통혼잡도 분석 결과

교통량 조사 결과를 토대로 환산교통량을 산출하여 해상교통혼잡도를 분석한 결과 <Table 48>와 같으며, 통항하는 선박의 교통량이 많아 4knots일 때 88.44%로 피크타임 시간대에 교통혼잡 발생 가능성이 높고 6knots일 때 60%에 근접하여 혼잡한 것으로 분석되었다. 따라서 선박 안전 통항을 위하여 부산항 Transit Line 시스템 운영의 필요성 및 활용도가 매우 높은 것으로 판단된다.

Table 48 Maritime Traffic Congestion Assessment

72hour traffic volume(No.)	L^2 Conversion traffic volume(No./h)	Velocity	Practical marine trafrfic volume(No./h)	Value of marine traffic congestions
451	8.45	4 kts	9.55	88.44%
		6 kts	14.33	58.96%
		8 kts	19.11	44.22%

Collection @ kmou

5) 충돌위험 분석(Collision Risk Analysis)

충돌위험 분석을 위한 선박통항 자료를 수집하기 위하여 AIS 수신기와 레이더를 연결한 시스템을 한국해양대학교에 설치하여 부산항북항을 통항한 선박들의 데이터를 7월 24일부터 7월 31일까지 일주일간 수집하였다. AIS 수신 데이터는 MATLAB으로 만들어진 자체 프로그램에서 디코딩이 되고, 선박의 크기는 AIS 수신데이터 및 web-site(www.marinetraffic.com, 2013)로 확인하였고, 각 선박의 크기를 계산하여 대표 선박을 선정하였다. 아래 그림<Fig. 117>은 7월 24일 통항선박의 항적으로 보여주는 것이며, 분석을 위하여 부산항 북항 영역의 구역을 위도와 경도를 따라 16x22로 셀을 구분하였다.

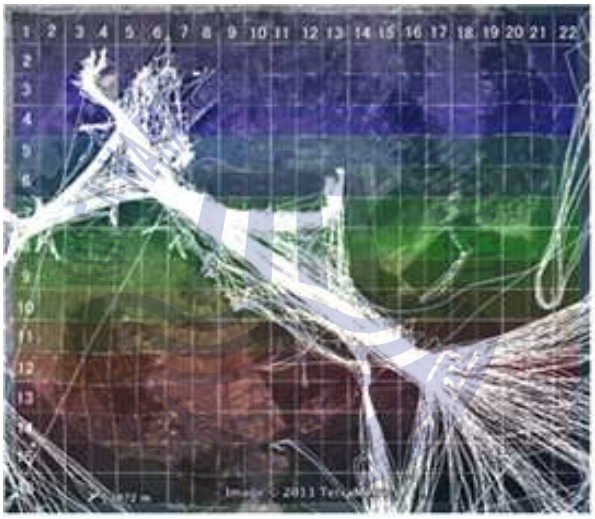


Fig. 117 The analysed area with ships track on 24th July

매 30분 간격으로 위험성이 분석되었고 이를 평균하여 1주일 동안의 위험을 산출하였다. 그 결과는 다음 그림<Fig. 118>와 같다. 셀(7,7) 주변에서 위험성이 가장 높았다. 위험성이 가장 높은 지점은 셀(6,6)이고 셀(6,7)의 위험성보다 약 2배 높은 것으로 나타났다. 셀(7,7) 주변을 확대한 것은 <Fig. 117>과 같다.

Collection @ kmou

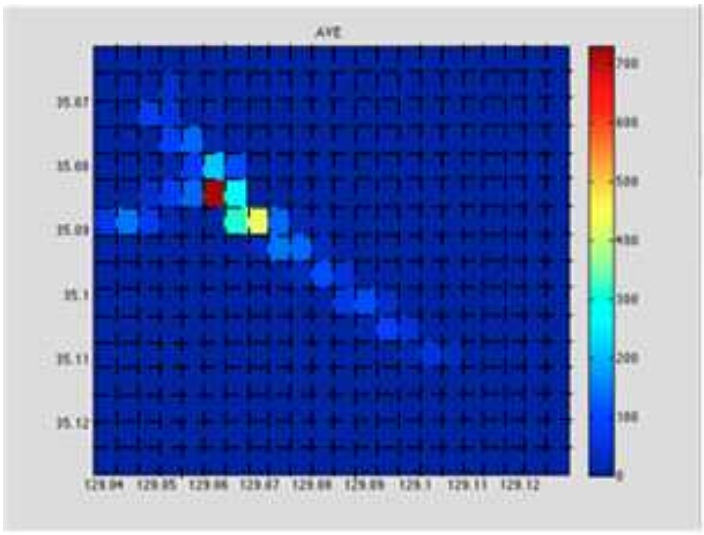


Fig. 118 The average risk level for 1 week

<Fig. 119>와 같이 선박은 셀(6,6) 및 셀(7,7) 구역을 4가지 방향으로 통항하였다. 이는 다른 구역에 비해 위험성이 더 높다는 것을 나타낸다. 실제로 이 구역에서 충돌이 많이 발생하였다. <Fig. 120>에 표시된 것과 같이 2000년~2012년 사이에 14건의 충돌이 발생하였다(중앙해양안전심판원, 2013년). 이 중 5건의 충돌이 셀(6,6) 및 셀(7,7)에서 발생하였다.

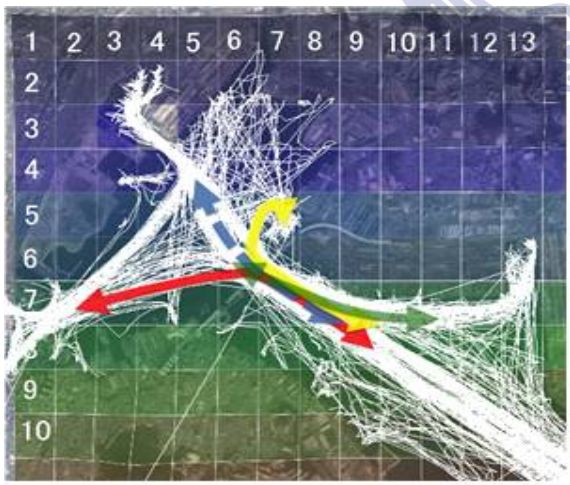


Fig. 119 Enlarged map around cell(7,7)

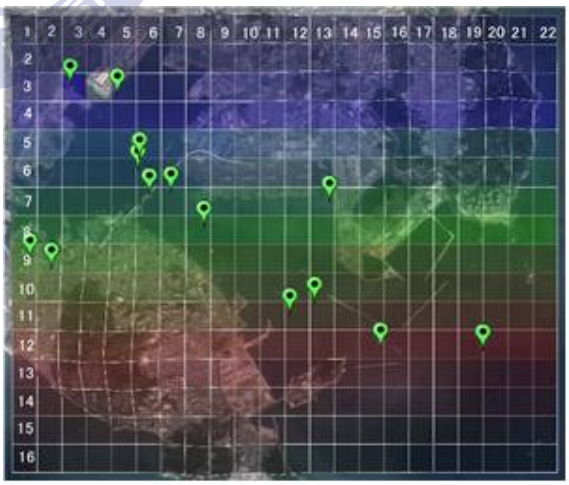


Fig. 120 Collision Map from 2000 to 2012

Collection @ kmou

그리고 가장 위험성이 높은 셀(6,6), (6,7), (7,7), (7,8)에 대하여 1주일 동안 00시부터 24시까지 매 30분 간격으로 위험성을 계산하고 평균을 구한 결과는 <Fig. 121>과 같이 나타났다.

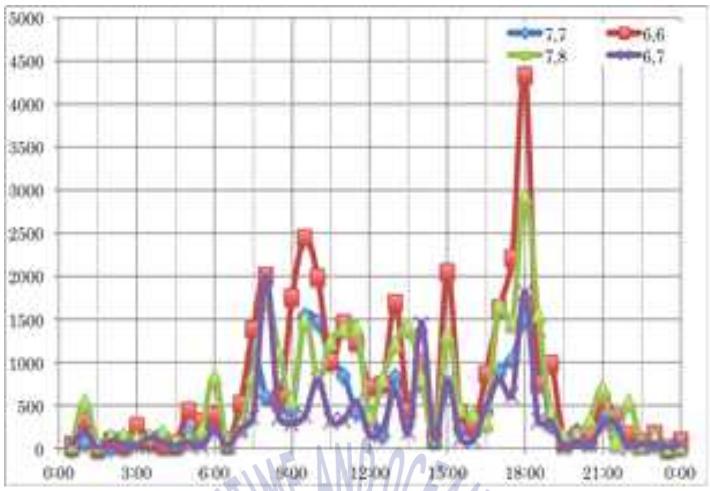


Fig. 121 Risk rate change by time at high-risk cell

위험성은 06시00분부터 증가하기 시작했고 22시30분까지 계속해서 값이 변하였다. 위험성은 18시00분에 가장 높게 나타났다. 8월의 부산항은 18시00분경에 해가 지고 어스름해지는 시간대로 항해사의 피로도가 높고 시야가 감소하며 환경이 변화하는 등으로 항해사들에게 위험한 시간대로 알려져 있다(The Japan Association of Marine Safety, 2012).

Collection @ kmou

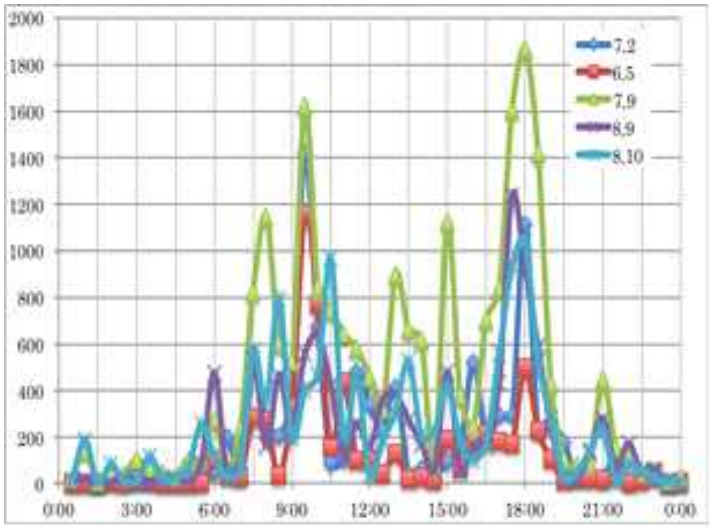


Fig. 122 Risk rate change over time in the cell

셀(6,5), (7,2), (7,9), (8,9), (8,10)의 시간대별로 위험성을 나타낸 그래프는 <Fig 122>와 같다. 셀(6,6), (6,7), (7,7), (7,8)의 구역보다 상대적으로 위험성은 낮지만 마찬가지로 18시00분경에 가장 위험성이 높은 것으로 나타났다.

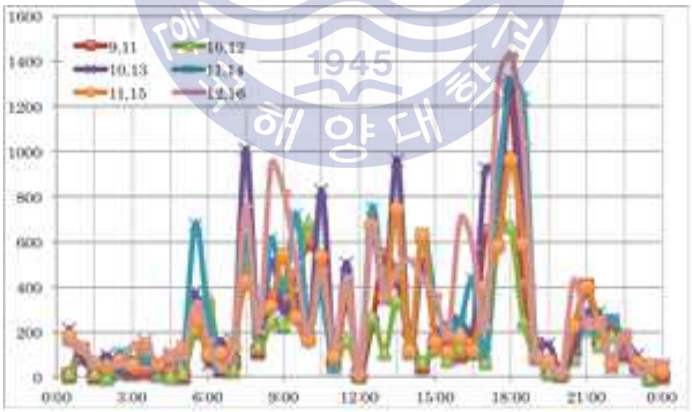


Fig. 123 Risk rate change over time in the cell

항로상에 위치한 셀(9,11), (10,12), (10,13), (11,14), (12,16)의 시간대별로 위험성을 나타낸 그래프는 <Fig. 123>와 같다. <Fig. 121> 및 <Fig 122>와 같이 위험성이 높은 시간대가 뚜렷하게 나타나지는 않지만 각 셀에서 위험성이 높은 시간대는 18시00분으로 나타났다.

Collection @ kmou

4.2.3 TRAM 검증결과

본 논문에서 제시한 해상교통안전시스템 평가모델인 TRAM을 통하여 부산항 해상교통안전 시스템을 검증한 결과 방위차에 의한 거리차는 항로가 배치된 방위와 등화가 설치된 방위가 일치하지 않아 항로시작점에서 최대 47m 편위되어 Transit Line이 설정된 것으로 평가되었고, 두 번째 항목인 앙각차에서는 항로 끝점에서 후도등까지의 앙각이 전도등까지의 앙각보다 크게 산출되어 항로 전 구간에서 두 등화의 분리를 확인할 수 있어 조건을 만족하는 것으로 평가되었으며, 세 번째 항목인 축이탈 거리에서는 항로시작점에서 안고에 따라 Transit Line에서 최대 81m~83m까지는 등화가 수직 일렬인 것으로 판단하게 되는 것으로 평가되었으며, 결과를 요약하면 <Table 49>와 같다.

Table 49 TRAM Evaluation of Busan Port Transit Line

Evaluation Item	Result	Decision
1. Bearing Difference Distance	Discordance between Channel Bearing and Transit Line Bearing	Off-Centerline Distance 47m (Stbd side) at Far End
2. Elevation Angle	Elevation Angle : Rear - Front > 0	Good
3. Off-Axis Distance	Off-Axis Distance : 81~83m (Height of Eye 5m, 15m, 30m)	Fair (46~47%)

위의 검증 결과를 그림으로 나타낸 것은 <Fig. 124>와 같으며 부산항 Transit Line 해상교통안전 시스템의 경우 항로시작점에서 방위차에의 한 거리차가 47m와 축이탈거리의 최댓값인 83m를 합하게 되면 항로폭의 절반에서 45m의 여유밖에 없어 인근에 위치한 조도, 오륙도 방파제에 근접하여 통항하는 선박

Collection @ kmou

은 상당한 주의를 해야 할 필요가 있다.

Fig. 124 Result of TRAM Evaluation

4.3 TRAM의 적용

4.3.1 부산항 보조도등시스템

1) 보조 도등의 필요성

부산항북항 재개발 사업 등 도심의 공간적 환경 변화가 지속적으로 이루어지고 있어 부산항북항에 진입하기 위한 가항항로(Useful Segment)의 도선 선상인 ⓒ지점 35° 06.977′ N, 129° 02.769′ E을 통과하는 구조물 신축으로 인하여 <Fig. 125 ~ Fig. 128>에 나타난 바와 같이 도선의 장애요인으로 작용하게 된다.

Collection @ kmou

Fig. 125 Location of new construction

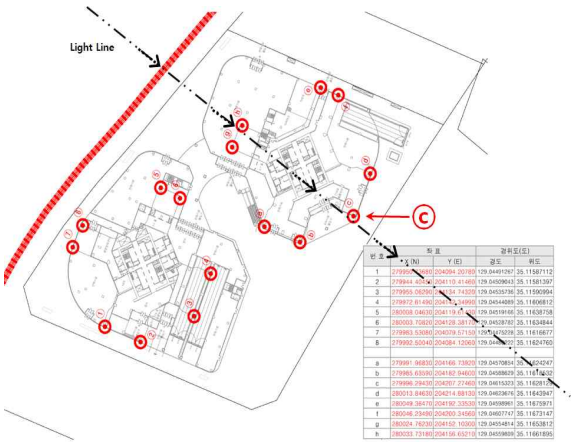


Fig. 126 Drawing of new construction

Fig. 127 Bird’ s eye view

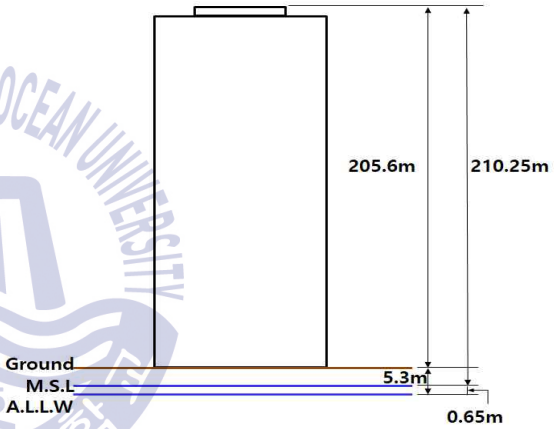


Fig. 128 Height of new construction

기존의 Transit Line 해상교통안전시스템에서 항로 끝점에서 두 등화의 앙각은 아래 <Fig. 129>에서 보는 바와 같이 5.22° 이다.

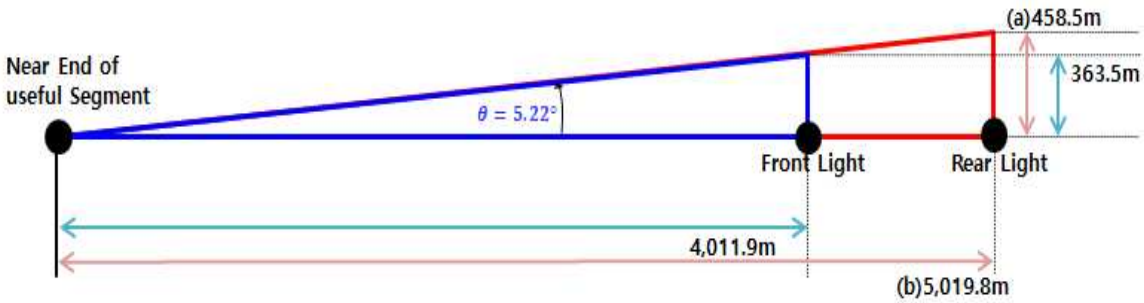


Fig. 129 Elevation angle of Busan port Transit Light

Collection @ kmou

그러나 항로 끝점과 전도등 사이 도선상에 210m 신규 건축물이 신축될 경우 전도등과 신규 건축물의 앙각은 <Fig. 130>에 나타난 것과 같이 3.93° 로 기존의 부산항 도등이 일부 구간에서 그 역할을 수행할 수 없게 된다.

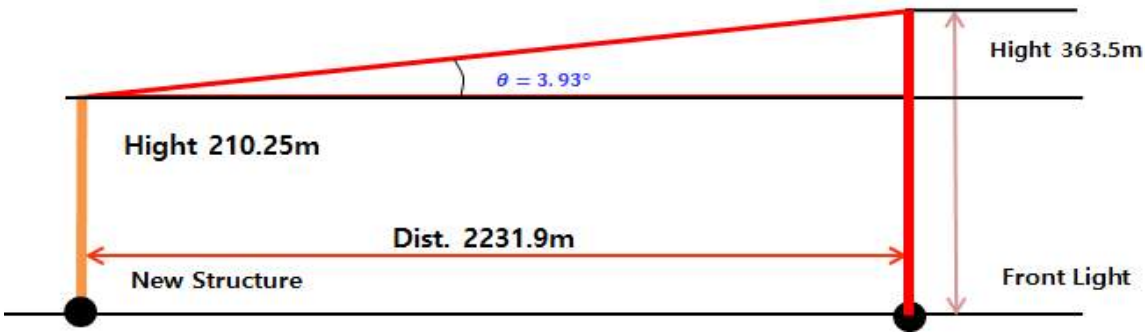


Fig. 130 Elevation angle between new construction and Front light

따라서 산출된 앙각을 기준으로 가항항로 방향으로 연장선으로 확장하여 Shadow Zone을 산출하면 <Fig. 131>와 같이 전체항로의 23.2%에 해당하는 1,282m구간이 된다.

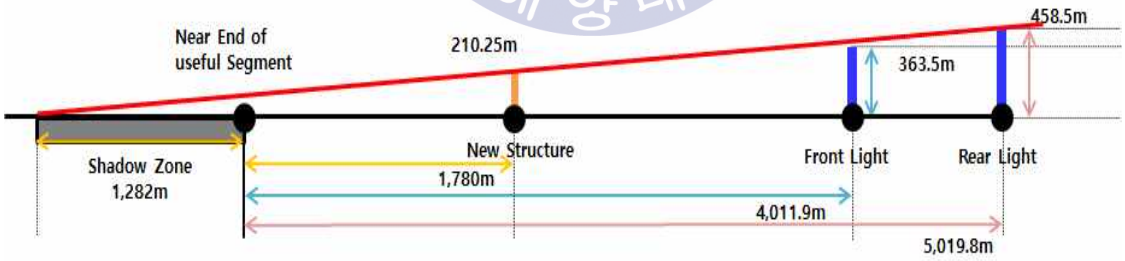


Fig. 131 Shadow Zone by new construction

앞 절에서 언급된 바와 같이 부산항북항대교 인근 항로에서는 교통혼잡도 및 충돌위험이 다른 수역보다 더 높게 평가되어 해당 수역을 통항하는 선박에게 이러한 위험요소를 해소할 수 있는 뚜렷한 물표가 필요하다.

Collection @ kmou

2) 보조 도등 위치선정

신축 구조물로 인하여 도등의 Shadow Zone이 항로 근접 끝단에서 1,282m 발생하므로, 상기 문제점을 해소하는 방안으로 <Fig. 132>과 같이 항로 근접 끝단과 신축 구조물 사이에 현행 운영되고 있는 도등의 도선 방위인 304.8° 로 보조 도등을 추가로 설치하는 방안을 검토하였고, 현재 부산항 3부두에 주차장과 부두 경계지점에 전도등과 후도등의 거리가 약 401m로 하여 보조 도등 위치를 선정하였다.

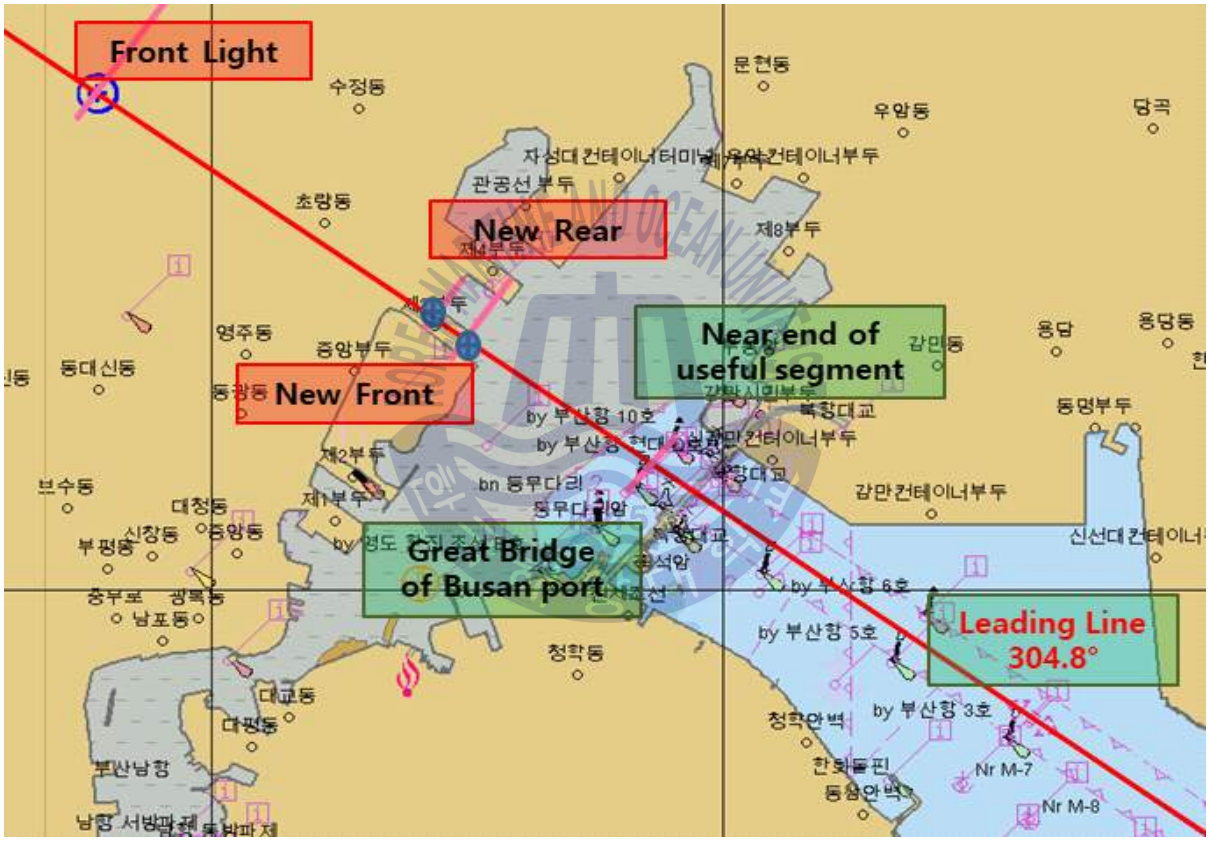


Fig. 132 Secondary Transit Light Layout

<Table 50>과 같이 선정된 위치는 기존 도등의 Transit Line에 위치하며 기존 전도등과의 거리는 보조도등의 전도등과는 1,143.8m, 후도등과의 거리는 1,544.2m로 산출되었다.

Collection @ kmou

Table 50 Secondary Transit Light Layout

Name	Location	Char.	Dist. from Front light	Dist. from Near end
2nd Front	35-06.78N 129-03.12E	FG	2,868.6m	1,143.8m
2nd Rear	35-06.91N 129-02.90E	FG	2,467.7m	1,544.2m

3) 등고선정

보조도등의 적정 등고는 Shadow Zone 영역에서 보조 도등을 충분히 인지할 수 있도록 하기 위하여 가항수로 내에서 도선의 인지를 방해할 수 있는 구조물을 검토하여, 이들 구조물과 상관관계를 통하여 도등의 최대 앙각과 최소 앙각을 산출하여 이를 평균하여 전·후 도등의 등고를 결정하고자 한다.

보조도등의 앙각 결정은 <Fig. 133>과 같이 가항수로 근접 끝단에서 289.3m지점에 부산항북항대교가 위치하고 있고 북내항 고시항로 높이는 60m로 규정되어 있는 바, 부산항북항대교에 지장을 받지 않는 범위에서 Shadow Zone 구간에서 보조도등의 역할을 수행할 수 있는 최대 앙각(θ max)는 3.56° 로 산출되었고, 위 보조도등의 위치에서 최대 앙각을 적용할 경우 보조 전도등과 보조후도등의 최대 높이는 각각 152.6m와 170.8m로 조사되었다.

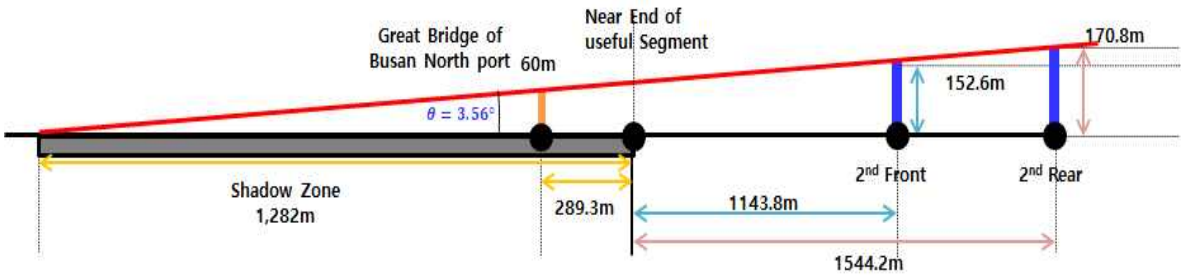


Fig. 133 Calculated Max. Height of secondary Transit light

또한, 최소 앙각을 산출하기 위하여 부두에 선박이 접안 가능한 최대선박인

Collection @ kmou

크루즈선이 정박하고 있을 경우를 가정하여 산출 하였다. 부산항 북항대교를 통과하는 선박의 최대 높이를 60m로 규정할 때, 가항항로 근접끝단과 부두와의 거리는 1,090m이고 해당 선박이 부두에 접안하고 있을 경우 도선과의 상관관계를 통해 계산한 결과 <Fig. 134>와 <Table 51>에 나타난 것과 같이 최소 앙각(θ min)은 3.15° 로 산출되었고 위 보조 도등의 위치에서 적용할 경우 보조 전도등과 후도등의 최소 높이는 각각 63m와 85m로 도출되었다.

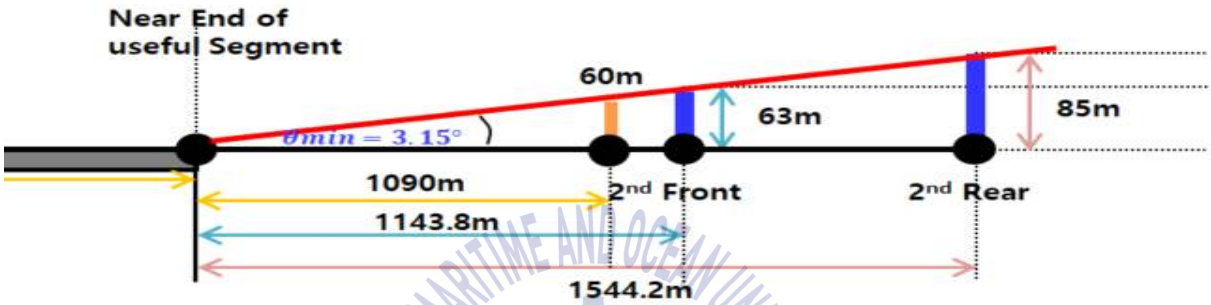


Fig. 134 Calculated Min. Height of secondary Transit light

따라서 보조 도등의 등고는 최소 등고 이상, 최대 등고 이하로 설치되었을 때 신축 구조물에 의한 Shadow Zone의 문제점을 해결할 수 있다.

Table 51 Height & Location of Secondary Transit Light

Name	Location	Min. Height	Max. Height
2nd Front	d35-7.6695N 129-1.5548E	64m	147.3m
2nd Rear	35-7.9748N 129-1.0189E	86m	170.6m

Collection @ kmou

4.3.2 TRAM의 적용

도심의 개발 계획으로 인하여 발생하는 해상교통안전시스템의 기능 제한 상황이 발생한 경우 항로 전반에서 선박이 안전통항을 확보하기 위해 보조도등을 검토하였고, 그에 따라 TRAM의 세 가지 요소를 적용하여 평가하였다.

부산항 북항 보조도등의 경우 전후도등이 운영되고 있는 상황에서 보조적으로 추가하여 설치하는 시스템인 특수한 경우이므로, 기존 전후도등의 Transit Line 선상에 설치되어야 하므로 TRAM을 적용하기 전 4.3.1에서 도출된 좌표가 기존 Transit Line 선상에 위하는지 여부를 확인해야한다.

1) 기존 Transit Line과의 관계

현재 운영 중인 부산항 북항 해상교통안전시스템과 보조 도등의 위치는 <Table 52>와 같다.

Table 52 Initial Position of Transit Lights

Name	Lat.	Long.
Front Light(FL)	N 35-7.6695	E 129-1.5548
Rear Light(RL)	N 35-7.9748	E 129-1.0189
2nd Front Light(2nd FL)	N 35-06.7842	E 129-03.1060
2nd Rear Light(2nd RL)	N 35-06.9030	E 129-02.8973

<Table 52>에서 도출된 기준점 간의 방위를 도출하면 아래 <Table 54>와 같다. 부산항 Transit Light 위치를 고려할 때 Transit Line의 방위는 약 304.86° 이며 이 방위를 기준으로 2nd FL 및 RL의 좌표를 산출하면 약 304.83° 로 각

Collection @ kmou

기준점간의 방위가 거의 유사한 것으로 산출되어 현재 운영 중인 부산항 북항 Transit Light와 신규 설치되는 보조도등이 거의 일직선상에서 Transit Line을 이루는 것으로 계산되었다. 여기서의 미미한 오차는 소수점 이하 계산에서 차이 값이다.

Table 53 Bearing & Distance between Initial Points

Name	Bearing(°)	Distance(m)
FL → RL	304.86	989.24
2nd Far end → Near end	304.91	2,436.78
2nd RL → FL	304.91	2,480.22
2nd RL → RL	304.90	3,469.56
2nd FL → FL	304.90	2,865.45
2nd FL → RL	304.89	3,854.81
2nd FL → 2nd RL	304.83	385.19

2) 방위차에 의한 이탈거리

앞서 1)에서 검토한 바와 같이 보조 도등의 위치가 거의 일직선상에 위치하고 있는 것으로 평가되어 다음 단계로 Transit Light 기능에 제약을 받는 구간에서 항로중심에서 Transit Line의 이탈범위를 조사하기 위하여 기본적인 정보를 <Table 54>에서 나열하였다.

Collection @ kmou

Table 54 Initial Point of Secondary Transit Light

Initial Point	Distance from 2nd Far end(m)	Light Position (WGS-84)	Min. Hight of Light (m)
2nd Far end	0	35° 06.0313′ N 129° 04.4249′ E	-
Near end	1,281.49	35° 06.4274′ N 129° 03.7311′ E	-
2nd Front Light	2,419.718	35° 06.7859′ N 129° 03.1209′ E	64
2nd Rear Light	2,819.608	35° 06.9089′ N 129° 02.9040′ E	87

방위차에 의한 이탈거리를 계산한 결과는 <Table 55>와 같다. 방위차에 의한 이탈거리의 기준은 신규 건축물로 인한 맹목구간의 항로 중앙선 시작점과 끝점을 연결한 방위이므로, 이 두 점의 산출결과 약304.9° 이고 항로 길이는 약 1,282m이다. 항로 끝점에서 보조 전도등까지 방위와 거리는 약304.9° 이고 거리는 약1,255m, 보조 전후도등의 방위는 304.8° 거리는 약 385m이다.

그리고 2nd 시작점과 끝점, 그리고 2nd 전도등은 일직선상에 있고, 2nd 후도등이 약간 0.08° 왼쪽으로 치우쳐져 있으므로 방위차에 의한 이탈 거리는 맹목구간 시작점에서는 오른쪽으로 약 3m정도 벗어나는 것으로 산출되며, 항로폭이 350m이므로 방위차에 의한 수직 이탈거리 구하는 식 (16)에 의해 이탈거리비는 1.75%가 산출되었으며, 부산항 Transit Light의 기능을 제약을 받는 시작점에서 가장 큰 값이 산출되므로 이 구간에서 보조도등의 평가는 “Excellent” 이다.

따라서 방위차에 의한 Transit Line의 이탈거리비가 15%미만으로 평가되므로 보조도등의 위치는 적정하다고 평가할 수 있다.

Collection @ kmou

Table 55 Bearing & Distances from Secondary Initial Point

Initial Point			Bearing	Distance(m)
2nd Far end	⇒	Near end	304.91	1,281.90 (C’)
2nd Far end	⇒	2nd Front Light	304.91	2,436.78
2nd Far end	⇒	2nd Rear Light	305.20	2,820.00
Near end	⇒	2nd Front Light	304.90	1,154.82 (M’)
Near end	⇒	2nd Rear Light	304.89	1,540.03
2nd Front Light	⇒	2nd Rear Light	304.83	385.19 (R’)

3) 앙각

앞서 기준점과의 거리를 환산한 결과 부산항 북항 Transit Line의 기능에 제약을 받는 항로거리(C’)는 1,281.9m이고, 끝점과 보조 전도등과 거리(M’)는 1,154.8m이고, 보조 전후도등간 거리(R’)은 385.2m로 조사되었다.

앙각은 항로끝점에서 도등간 거리가 가장 가까우므로 항로내에서 가장 큰 값을 가지게 되고 여기서 두 등화의 앙각을 계산하여 비교하여 끝점에서 두 등화가 구분되어 관측될 수 있는지 여부를 확인하였다. 다음 <Table 56>은 앙각을 산출하기 위한 기본데이터이다.

Table 56 Data for Calculation of Elevation angle

항목	M‘	R‘	H_{2ndFL}	H_{2ndRL}
값	1154.8	385.2	64	87

Collection @ kmou

항로끝점에서 전도등과 후도등의 앙각을 계산하면 각각 약 3.17° , 3.23° 로 조사되었고, 기초 데이터를 이용하여 앙각 평가요소에 해당하는 식을 이용하여 산출하면 식 (26)에서 보는바와 같이 0보다 큰 값이 산출되어 조건에 만족하는 것은 평가되었다.

$$\tan^{-1}(\frac{H_{RL}}{M+R})-\tan^{-1}(\frac{H_{FL}}{M}) = 0.00107 > 0 \quad (26)$$

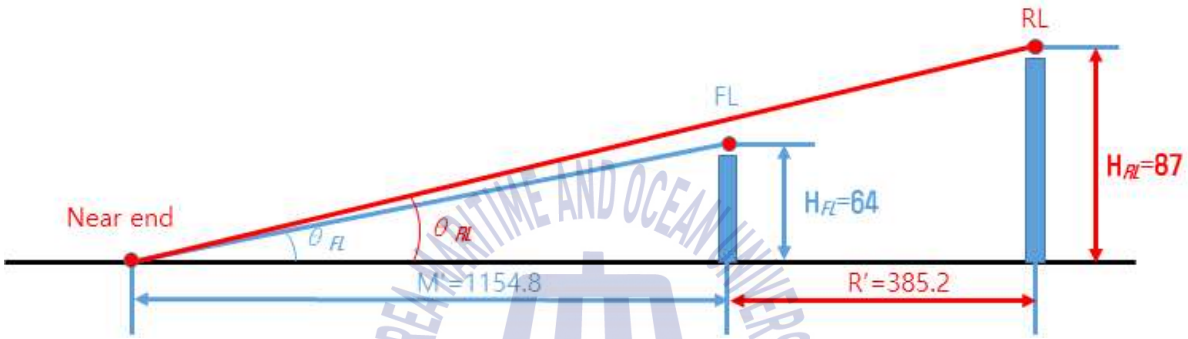


Fig. 135 Data for Calculation of Elevation angle for Secondary Transit Lights

4) 축이탈거리

축이탈거리를 평가하기 위하여 필요한 데이터는 <Table 57>에서 보여주는 바와 같이 항로거리(C’), 항로끝점과 전등과 거리(M’), 전후등화간 거리(R’)이고, 전등과 후등의 안고는 각각 64m, 87m이고, 관측자의 안고는 선박의 종류에 따라 다르므로 대표적인 값으로 5m, 15m, 35m로 구분하여 평가하였다.

Table 57 Data for Calculation of Off-Axis Distance

항목	C ‘(m)	M ‘(m)	R ‘(m)	H_{FL}(m)	H_{RL}(m)	안고(m)
값	1,281.9	1154.8	385.2	64	87	5, 15, 30

Collection @ kmou

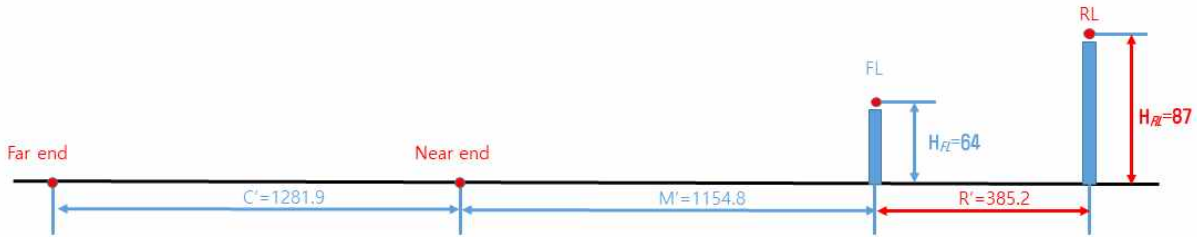


Fig. 136 Side view of Secondary Transit Line

계산 결과에 따라 안고 5m일 때 축 이탈거리와 비는 <Table 58> 같다. 항로 시작점에서 끝점까지 2m~14m이고 비율은 8%이하로 Transit Line에서 벗어나 관측이 되는 것으로 조사되었고, 항로 시작점에서 끝점까지 전 구간에서 Excellent로 평가되었다.

Table 58 Off Axis Distance and Cross Track Factor (Height of eye : 5m)

Distance from Near End	Off Axis Distance(m)	Cross Track Factor	ϒ (mrad) (MLW)
1,282	14	8%	5.1
1,154	13	7%	5.2
1,025	11	7%	5.2
897	10	6%	5.2
769	9	5%	5.2
641	8	5%	5.1
513	7	4%	4.9
385	6	3%	4.7
256	5	3%	4.3
128	3	2%	3.6
0	2	1%	2.6

계산 결과에 따라 안고 15m일 때 축 이탈거리와 비는 <Table 59>과 같다. 항로 시작점에서 끝점까지 3m~15m이고 비율은 8%이하로 Transit Line에서 벗어

Collection @ kmou

나 관측이 되는 것으로 조사되었고, 항로 시작점에서 끝점까지 전 구간에서 Excellent로 평가되었다.

Table 59 Off Axis Distance and Cross Track Factor (Height of eye : 15m)

Distance from Near End	Off Axis Distance(m)	Cross Track Factor	ϒ (mrad) (MLW)
1,282	15	8%	5.7
1,154	14	8%	5.8
1,025	12	7%	5.9
897	11	6%	6.0
769	10	6%	6.1
641	9	5%	6.1
513	8	4%	6.1
385	7	4%	6.0
256	6	3%	5.8
128	4	3%	5.4
0	3	2%	4.8

안고 30m일 때 축 이탈거리 및 이탈거리 비는 <Table 60> 같다. 항로 시작점에서 끝점까지 5m~17m이고 비율은 9%이하로 Transit Line에서 벗어나 관측이 되는 것으로 조사되었고, 항로 시작점에서 끝점까지 전 구간에서 Excellent로 평가되었다.

Collection @ kmou

Table 60 Off Axis Distance and Cross Track Factor (Height of eye : 30m)

Distance from Near End	Off Axis Distance(m)	Cross Track Factor	ϒ (mrad) (MLW)
1,282	17	9%	6.8
1,154	15	9%	7.0
1,025	14	8%	7.3
897	13	7%	7.5
769	12	7%	7.8
641	11	6%	8.1
513	9	5%	8.3
385	8	5%	8.6
256	7	4%	8.8
128	6	4%	9.0
0	5	3%	9.1

4.3.3 TRAM의 활용 결과

본 논문에서 제시한 TRAM으로 기존의 해상교통안전시스템의 Transit Line을 평가할 뿐만 아니라, 신규 설치되는 시스템에도 적용하여 검토하였다.

부산항 북항 Transit Line 선상에 보조 도등의 전후도등을 배치토록 하여 계산된 좌표를 토대로 검증한 결과 방위차에 의한 거리차는 부산항 북항 도등의 기능제한 항로 시작점에서 3m 편위되어 설정된 것으로 평가되었고, 두 번째 앙각차는 항로끝점에서 후도등가지 앙각이 전도등까지 앙각보다 크게 산출되어 해당 항로구간내에서 두 등화의 분리를 확인할 수 있어 조건을 만족하는 것으로 평가되었으며, 세 번째 항목인 축이탈거리에서는 기능제약 항로 시작점에서 최대 14m~17m까지이며 이는 평가항목에서 9%미만으로 평가되었으며, 그 결과는 <Table 61>와 같다.

Collection @ kmou

Table 61 Result of Assessment for Secondary Transit Line of Busan Port

Evaluation Item	Result	Decision
1. Bearing Difference Distance	Almost same bearing between Channel Bearing and Transit Line Bearing	Off-Centerline Distance 3m (Stbd side) at Near End
2. Elevation Angle	Elevation Angle : Rear - Front > 0	Good
3. Off-Axis Distance	Off-Axis Distance : 14~17m (Height of Eye 5m, 15m, 30m)	Excellent (8~9%)

위의 검증 결과에 따라 해도상에서 구분해 보면 <Fig. 137>과 같으며, 부산항 북항 Transit Line 시스템은 부산 제1항로인 북항 접근항로의 초입부터 신규 건축물로 인한 음역구역이 시작되는 부분까지 적용 가능하며, 그 이후 구간에서는 새로 설치되는 보조 도등이 Transit Line 기능을 보완하여 전체 구간에 대하여 Transit Line 기능의 제약을 받지 않고 선박 통항 안전을 도모할 수 있는 것으로 평가 되었다.

따라서 TRAM을 이용한 평가결과에서 보는 바와 같이 세 가지 평가 요소를 기반으로 이미 설치된 해상교통안전 시스템뿐만 아니라, 신규로 설치되는 시스템에도 적용 가능한 것으로 판단되어 향후 선박통항의 안전도모를 위한 해상교통안전시설인 Transit Line 시스템을 도입할 때 검증할 수 있는 효과적인 평가 모델로 활용할 수 있다고 판단된다.

Collection @ kmou

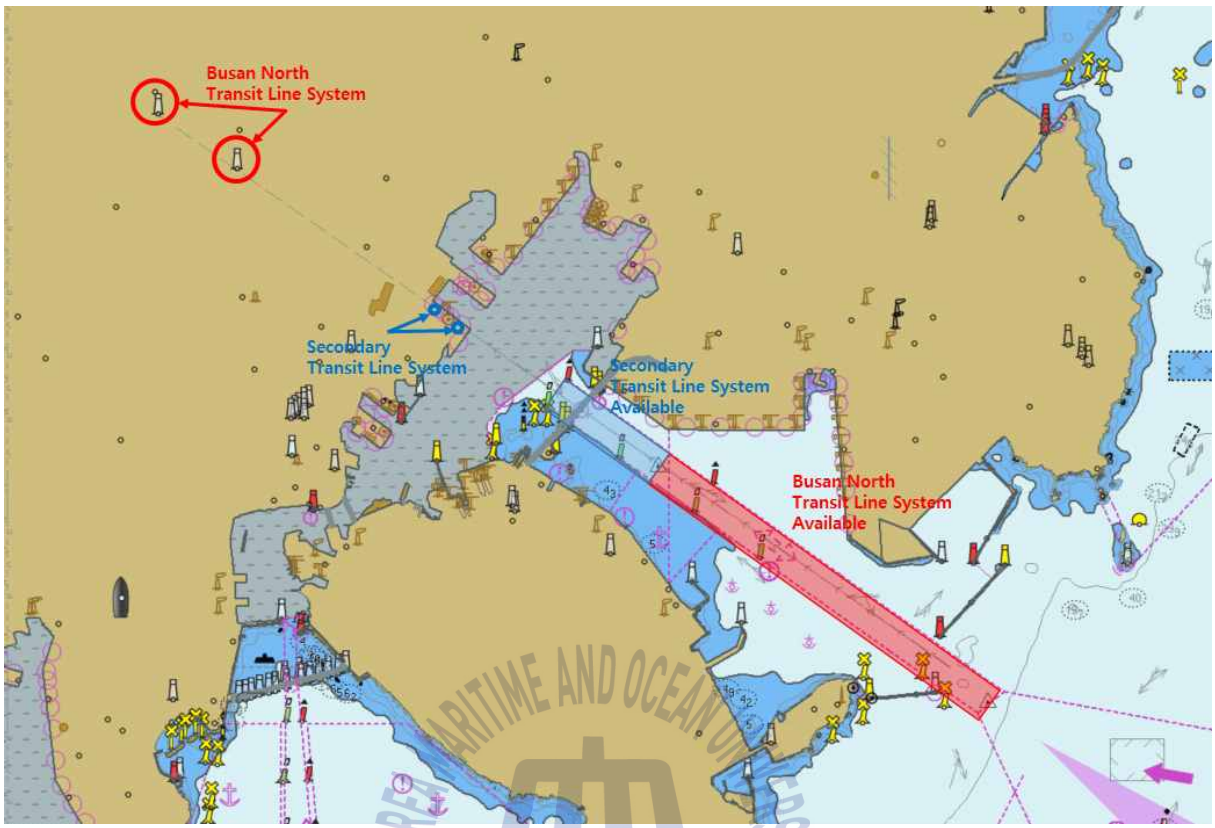


Fig. 137 Two Transit Line systems & Available useful segments

KOREA MARITIME AND OCEAN UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

4.4 항로표지(AtoN) 시뮬레이션 검증

4.4.1 항로표지(AtoN) 시뮬레이터 구성

1) 개요

선박조종 시뮬레이터는 선박의 조종을 모의로 실험하여 봄으로써 항만에서의 선박운항의 안전성을 검증할 수 있는 장비로서 항만 설계 시 최적의 평면배치를 위해 개발된 연구 장비이다. 이 시뮬레이터의 구성 장비는 다음과 같다.

○ 조종화면 : 콘트롤 콘솔, 조종상황 지시기, 외력입력기

○ 수학 모델 : 천수효과, 안벽 효과(Bank Effect), 가변조류, 선박 상호간섭,

Collection @ kmou

앵커 포스, 예인선의 영향 처리

○ Printer 1기

○ ENC 변환기

항로표지(AtoN) 시뮬레이터 화면 구성은 <Fig. 138> 및 <Fig. 139>와 같다.

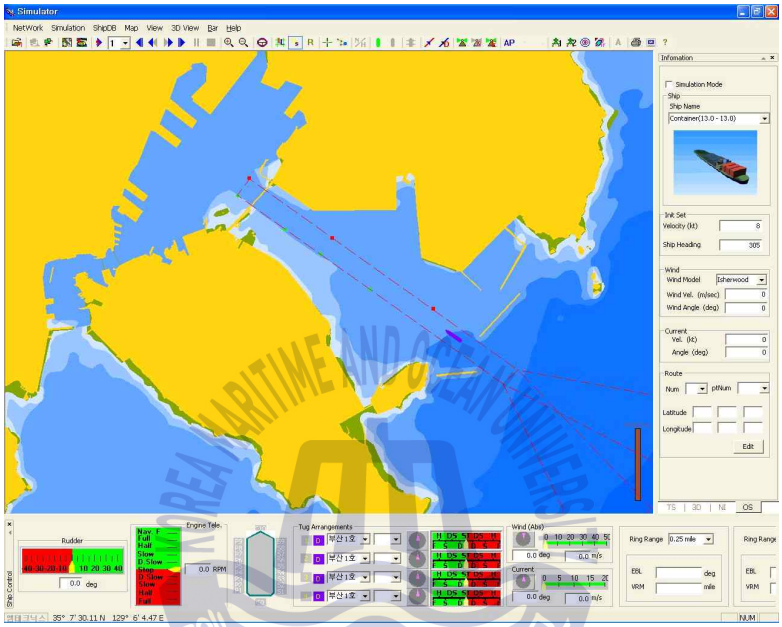


Fig. 138 AtoN Simulator

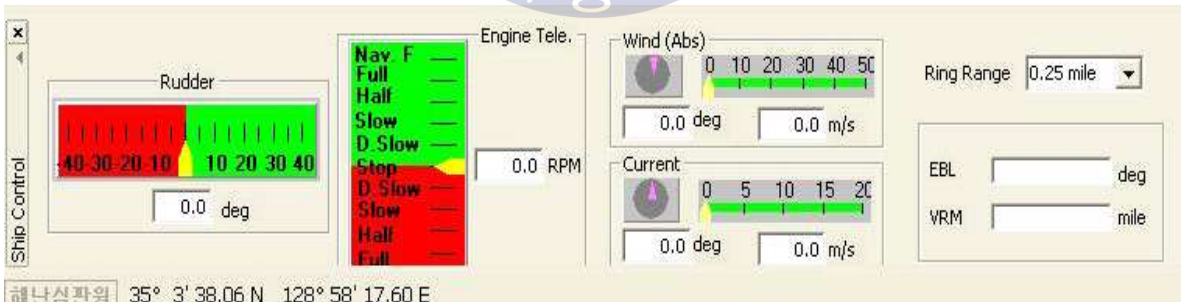


Fig. 139 AtoN Simulator control tap

2) 시뮬레이션 데이터베이스 구축

시뮬레이션을 위한 데이터베이스는 영상 및 환경 데이터베이스로 이루어진

Collection @ kmou

다. 이들 데이터베이스를 국립 해양조사원이 발행한 해도와 조류도 및 관련 사진 등을 기초로 하여 다음과 같이 구축하였다.

○ 2차원 데이터베이스 구축

2차원 데이터베이스는 국립해양조사원에서 보급되는 전자해도를 이용하여 우리 연구팀이 보유중인 시뮬레이터에 적용하기 위하여 변환기를 전자해도변환기를 통하여 변환 후 적용한다, 이 전자해도 데이터를 이용하면 해도상에 표현되는 대부분의 데이터를 시뮬레이션에 표현할 수 있는 장점을 지닌다.

○ 수심 데이터베이스

수심은 최신판 해도의 수심을 기초로 하였다. 이 부분도 전자해도를 이용하였으므로 실제와 거의 동일한 대상수역의 수심이 표현된다. 물론, 특정수역에 임의 수심변환도 가능하여 준설에 의한 실험도 가능하도록 되어있다.

○ 조류 데이터베이스

조류 데이터베이스는 조류도 자료를 기준으로 하여 구축하였으며, 최강 창조류와 최강 낙조류에 대해 각각의 데이터베이스를 따로 구축하였다. 물론 원하는 조류 속도 및 방향은 수정이 가능하도록 프로그램이 되어 있다.

○ 3차원 데이터베이스의 구축

전자해도에서 추출한 2차원 데이터베이스를 활용하여 3차원 항만데이터를 제작하고 본 연구에서 필요한 부산항 Transit Light의 위치와 등고에 맞추어 모델링을 한다.

3) 선체운동방정식의 개발

시뮬레이션에 사용된 선박은 6,000TEU 급 컨테이너선 선박으로 하였다. 이에 대한 제원은 <Table 62> 및 <Fig. 140>와 같다.

Collection @ kmou

Table 62 Specification of Model Vessel

Element / Type	LBP	B	D
6,000 TEU Container	300.5m	41.5m	11.4m

Fig. 140 Model Vessel

4) AtoN 시뮬레이션 과정

시뮬레이션 모델선박은 이 수역을 이용할 것으로 예상되는 최대급 선박으로서 도등이 설치되게 될 항로의 시작점에서 입항하여 항로의 끝점까지 항해하여 각 안에 대한 시인성을 검증하였다. 시뮬레이션의 전 과정은 다음의 순서에 따라 수행하였다.

○ 항만 3차원 데이터베이스의 개발

검토 해역에서의 선박의 조종에 영향을 주는 부산항의 구조물, 항로표지, 수심, 조류, 바람 등의 자료를 토대로 데이터베이스를 구축한다. 그리고 도등의 각 안에 대한 데이터베이스를 구축한다.

Collection @ kmou

○ 예비 시뮬레이션

구축된 모델의 타당성을 검증하고 필요에 따라 모델을 수정하기 위해 예비 시뮬레이션을 실시하고, 이를 토대로 하여 필요시 표준조종 모델을 수정한다.

○ 실제 시뮬레이션

선박운항에 소요되는 실시간 차원에서 시뮬레이터를 이용하여 AtoN 시뮬레이션을 실시하여 각 안에 대한 시인성을 파악한다.

4.4.2 시뮬레이션 검증 결과

보조도등설치(전도등 및 후도등)계획 위치를 정밀전자해도에 나타내면 <Fig. 141>와 같으며, 각 지점에 대한 WGS-84 좌표 및 해발고도, 주변형상 등의 명세는 <Table 63>과 같다.

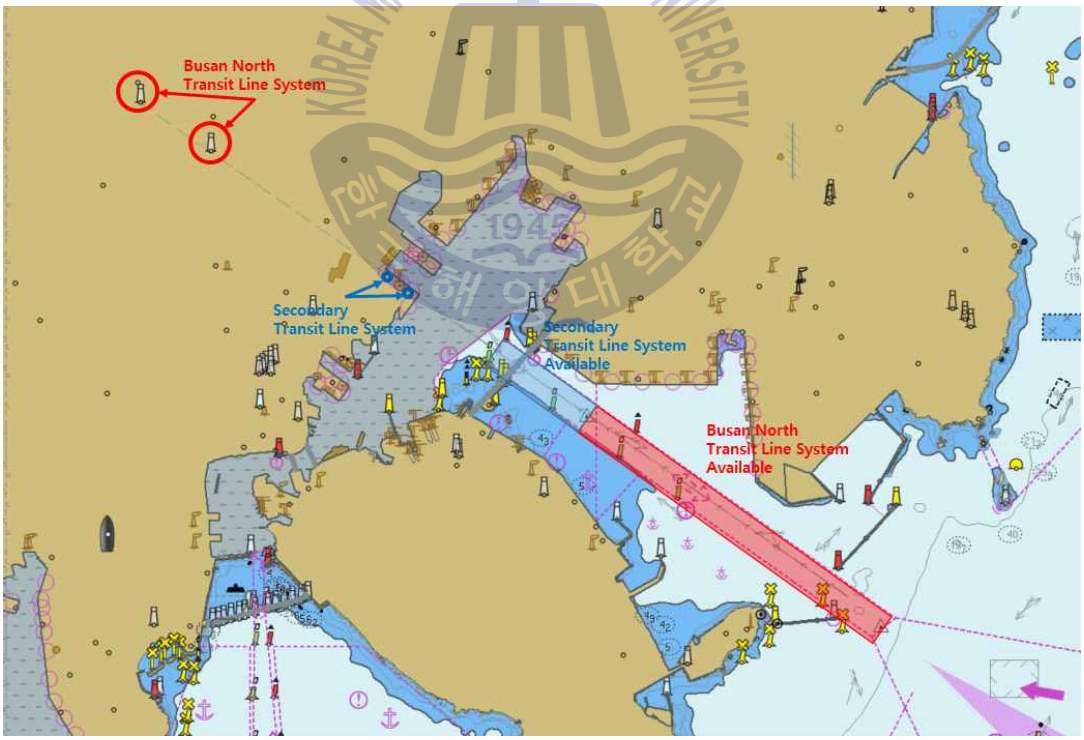


Fig. 141 Two Transit Line systems

Collection @ kmou

Table 63 Final Transit Line Configuration

Div	Value	Remark
Height of Front Lihgt (m)	397.5	60m from Foundation
Height of Rear Lihgt (m)	460	60m from Foundation
Height of Busan North Port Bridge (m)	65.0 (Bridge Freeboard : 60.0)	
Distance between Far End and Busan North Port Bridge (m)	5,232.3	
Size of Day Board (Front) (m)	3×5	
Size of Day Board (Rear) (m)	3×5	
Front Light Intensity (Cd)	705,946	LED
Rear Light Intensity (Cd)	705,946	LED
Distance between Lights (m)	1,007.9	
Height of Eye (m)	5, 15, 35	

또한 보조도등의 '전도등과 후도등의 위치 연결선'을 '부산항 항로를 위한 도등라인'과 비교한 것은 <Fig. 143>과 같다.

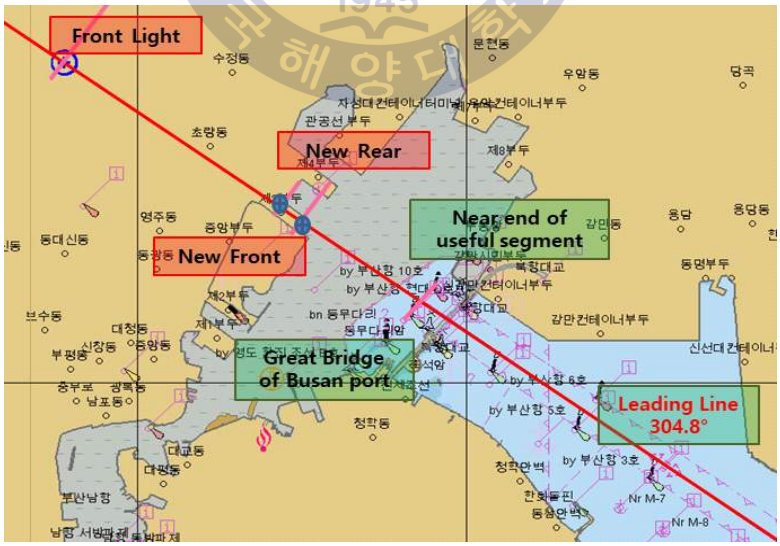


Fig. 142 Transit Line of Two Transit Line Systems

부산항 도등 설치계획(안)에 대하여 주간 및 야간의 입항에 대한 시뮬레이션

Collection @ kmou

을 행하였으며 그 결과는 <Fig. 144>와 <Fig. 145>와 같다. 또한 Transit Line이 항로중앙을 기준으로 설정되므로, 항로의 우측 또는 좌측을 통하여 항해하는 경우에 도등의 시인성을 확인하기 위하여 항로의 우측 끝과 좌측 끝을 따라서 입항하는 경우에 대하여도 시뮬레이션을 행하였다. 이에 대한 시뮬레이션의 결과는 <Fig. 146> 및 <Fig. 147>과 같다. 고광력 LED 도등의 경우 등의 발산각이 8도이기 때문에 항로좌우측에서 시인하는 것은 크게 문제가 없는 것으로 나타났으며, IALA 설계기준에 의한 항로 폭의 조건을 만족하고 있어서 문제는 없는 것으로 나타났다.

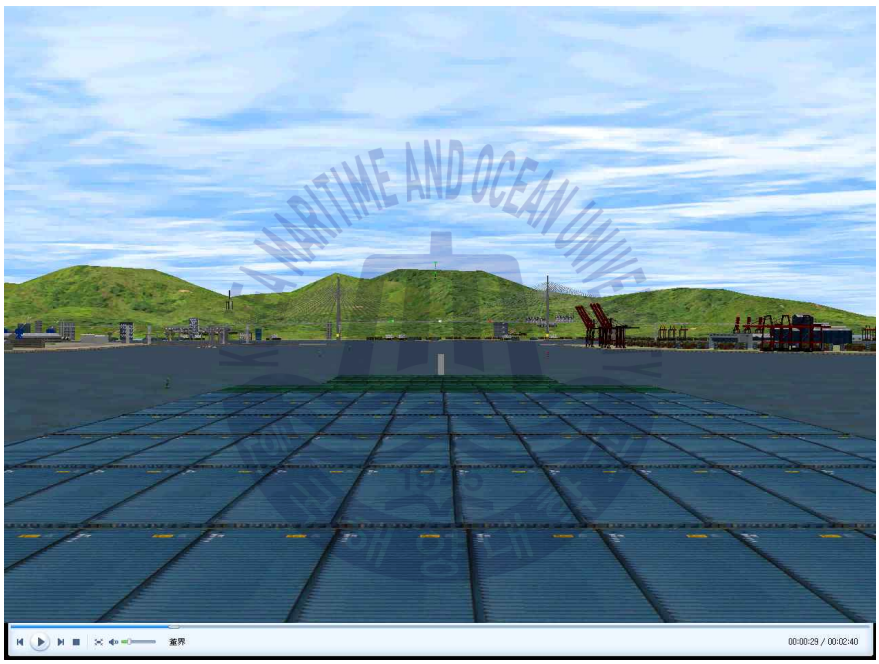


Fig. 143 Verify by Simulation (Day)

Collection @ kmou

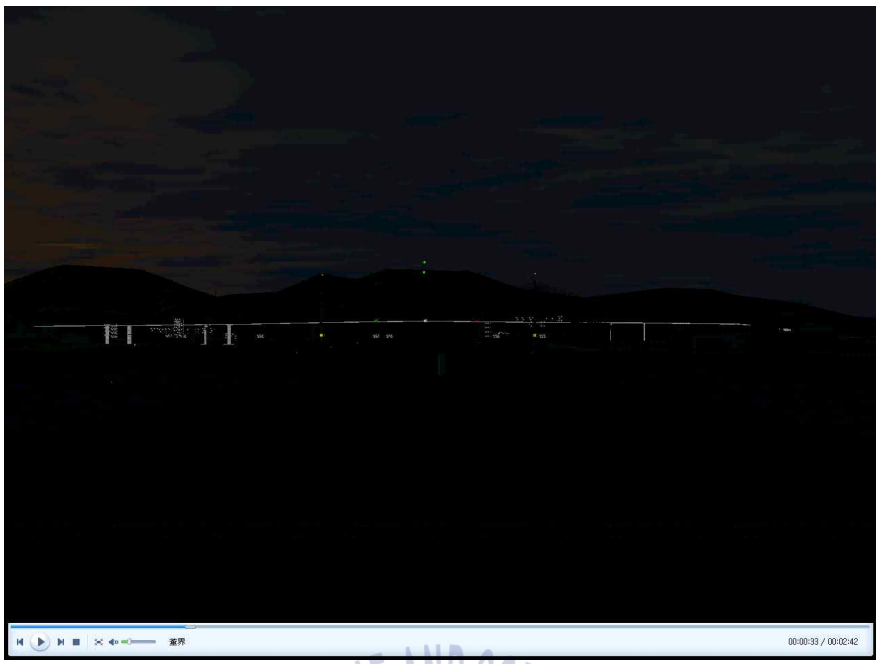


Fig. 144 Verify by Simulation (Night, Navigating on Centerline)

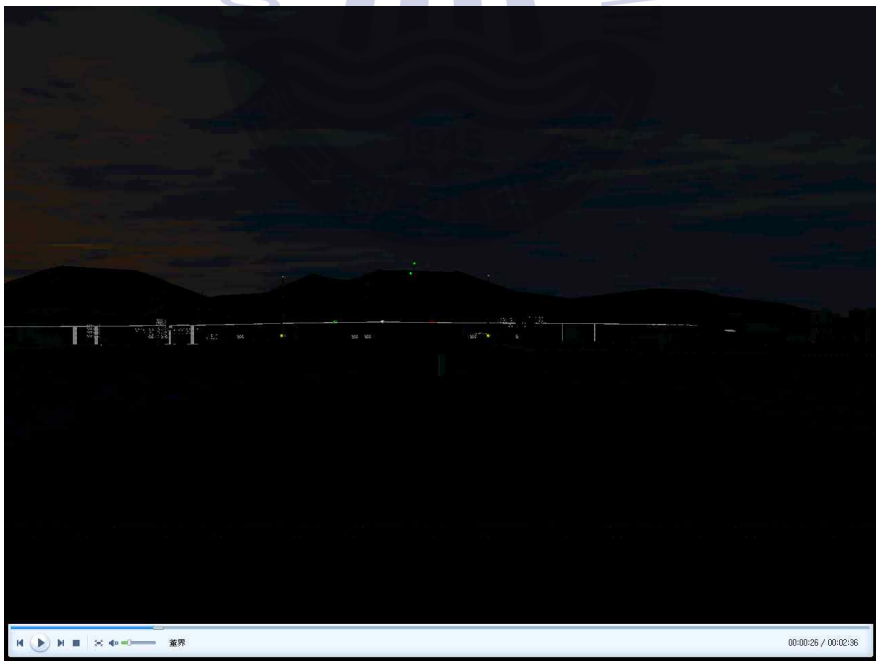


Fig. 145 Verify by Simulation (Night, Navigating on Starboard side)

Collection @ kmou

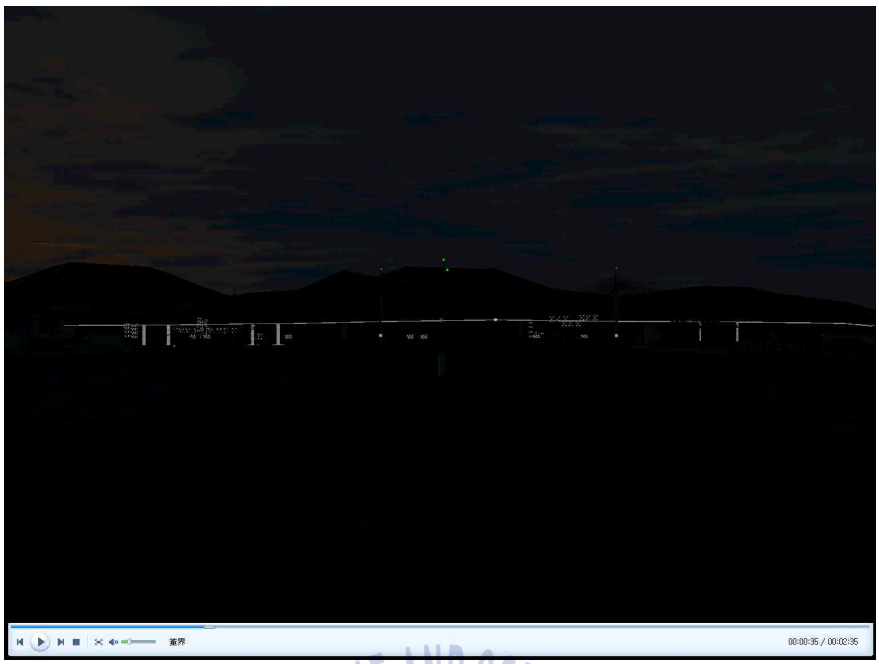


Fig. 146 Verify by Simulation (Night, Navigating on Port side)

Collection @ kmou

제 5 장 결론

본 연구 논문은 Transit Line을 제공하는 해양교통안전시스템의 사전 및 사후 평가 모델인 TRAM을 개발하기 위하여, 모델의 수립과정, 수립된 모델에 대한 시뮬레이션을 통한 검증과정 및 새로운 시스템에 대한 적용 등을 통하여 정량적 기법으로 사전 및 사후 평가할 수 있는 과학적인 과정을 제시하였다.

특히 재래식 항로표지와 국내는 물론이고 국제적으로 활발하게 진행되고 있는 e-Navigation, 해양4차 산업혁명 및 자율운항선박 등을 지원하는 해상플랫폼으로서 항로표지의 확장적인 개념인 해양교통안전시스템에 대하여 제안하였다.

그리고 Transit Line 해상교통안전시스템의 설치 목적과 기능, 기술 성능 및 등화에 대하여 기술하고, 평가모델의 구축을 위하여 국제적인 설계 기준 및 설치요건을 조사 분석 하였다. 또한 부산항 대교의 건설에 따른 부산항 출입항로에서의 Transit Line을 제공하는 시스템의 설계요소 및 설치여건을 분석하여 평가모델의 수립 및 검증을 위한 각종 파라미터를 도출하였다.

또한 Transit Line 해상교통안전시스템 평가모델인 TRAM(TRansit-line Assessment Model)을 개발하였으며, 시스템의 사전 및 사후평가를 행하기 위하여 Bearing Difference Distance, Elevation Angle 및 Off-Axis Distance 등 평가항목을 도출하고 각 평가요소에 대한 평가기준을 설정하였으며, 부산항에 설치된 시스템에 대하여 시뮬레이션 기법으로 검증하여 모델의 효용성을 입증하였다. 아울러 효용성이 입증된 평가모델을 부산항 시스템의 주변 고층건물의 건설에 의한 맹목구간의 해소를 위한 새로운 소규모 시스템의 제안에 적용하여 설계와 설치에 도움이 되는 과학적인 제안을 행하였다.

향후 연구로서는 새로운 기술적인 변화에 대응하기 위하여 시각적인 Transit

Collection @ kmou

Line을 제공하는 해상교통안전시스템도 전자적인 Transit Line을 제공하는 시스템으로 개발하고자 하며, 이에 대한 전자적인 평가모델도 개발하고자 한다.

더욱이 e-Navigation 시대의 도래에 따른 항로표지의 확장된 개념인 해양교통안전시스템의 역할로서 시각적인 요소가 강한 재래식 항로표지에 부가하여 전자적인 기능을 부여하여, 해상정보 수집 및 제공 등을 위한 지원 해상플랫폼의 구축이 시급하다고 판단된다.

또한 제4차 해양산업혁명에 대비하여 ICT 기술을 접목한 인공지능적이고 능동적인 항로표지의 건설 및 구축에 대한 연구와 지원이 절실하게 필요하다고 판단된다. 특히 자율운항선박의 출현에 따라 지원 해상플랫폼은 필수불가결한 인프라가 될 것이므로, 이 역할을 해상교통안전시스템이 수행할 수 있도록 시스템의 혁명적 기술변화를 시도하여야 할 것이며, 이러한 기술을 우리나라는 세계적으로 주도하여 나가야 할 것이다.

Collection @ kmou

참고문헌

국립해양조사원, 2017, 등대표

국립해양측위정보원, 2018, http://www.nmpnt.go.kr/

국승기, 2018, 자율운항선박 지원 해상플랫폼 - 항로표지 활용 -, 한국항해항만학회 춘계학술대회논문집

국승기, Resilient Positioning, Navigation and Timing, e-Navigation Underway 2018 Asia-Pacific Conference

법제처, 2018, 항로표지법

법제처, 2018, 항로표지법 시행령

법제처, 2018, 항로표지법 시행규칙

부산지방해양수산청, 2003, 釜山 新港 航路標識 配置 및 實施設計 硏究用役

부산지방해양수산청, 2005, 감천항 항로변경 및 도등기능개선 설계용역

부산지방해양수산청, 2016, 부산항 주요항로 항로표지 재배치 연구용역

부산지방해양수산청, 2017, 「부산항 조류신호시스템 설치」 기본조사 및 설계용역

부산지방해양항만청, 1996, 4000 TEU CONTAINER선 출입항을 위한 감천항 항로표지 보완 기본설계

부산지방해양항만청, 2009, 부산항 도등 설치공사 기본조사 및 실시설계용역

정태권, 국승기, 2013, 항로표지론, 세종출판사

㈜경승디씨아이, 2009, 부산항 도등설치공사 기본조사 및 실시설계 용역

해양수산부, 2014, 2014 상반기 예비타당성조사 신청 기획연구보고서 IMO 차세대 해양안전종합관리체계 기술 개발

Collection @ kmou

해양수산부, 2015, 항로표지 중·장기개발 계획에 관한 조사 연구용역

해양수산부, 2016, 첨단 과학기술로 해양수산 신산업 본격 육성한다

해양수산부, 2017, 항만 및 어항 설계기준·해설

해양수산부, 2017, 해양과학기술 로드맵 구성

해양수산부, 2018, 항로표지전산관리시스템(https://aton.kr/)

해양수산부, 산업통상자원부, 2018, 스마트 자율운항선박 및 해운항만 운용서비스 개발사업 예비타당성 조사

현대산업개발㈜, 2009, 해안순환도로(북항대교) 민간투자사업 선박통항안전 종합대책수립용역

현대산업개발㈜, 2015, 북항대교 경관조명으로 인한 선박 야간 입출항시 통항안전에 관한 연구용역 보고서

Airports Authority of India, 2017, https://www.aai.aero/

European GNSS Service Centre, 2017, https://www.gsc-europa.eu/

Federal Aviation Administration, 2014, Wide Area Administration Augmentation System (WAAS) Status and History

GPSWORLD, 2017, http://gpsworld.com/

IALA, 2005, IALA Guideline 1023 The Design Of Leading Lines

IALA, 2005, IALA Recommendation E-112 On Leading Lights

Information and analysis center for positioning navigation and timing, 2017, https://www.glonass-iac.ru/

International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, 2018, NAVGUIDE

International Cooperation Center China Satellite Navigation Office, 2016, Update on BeiDou Navigation Satellite System (BDS)

Japan Civil Aviation Bureau, 2017, http://www.mlit.go.jp

Collection @ kmou

Korea Aerospace Research Institute, 2017, KASS program status

National Oceanic and Atmospheric Administration, 2017, http://www.noaa.gov/

OECD, 2016, The Ocean Economy in 2030

United Nations Office for Outer Space Affairs, 2017, https://www.unov.org/

USCG, 2018, U.S. AIDS TO NAVIGATION SYSTEM

Collection @ kmou

감사의 글

누구나 새로운 길을 찾아 나서게 되면 기대 반 걱정 반으로 시작하게 되며 스스로를 잘 알고 있는 것 같지만 그렇지 않는 경우가 더 많다고 생각한다. 만약 자신을 잘 파악하고 있다면 실패와 좌절은 그리 많지 않을 것이며 처음부터 아니 될 일은 시작하지도 않을 것이다. 그러나 자신에게 숨겨진 여러 가지 능력은 살아가면서 하나씩 서서히 발견하게 되는 경우가 많으며 흔히 인생에는 세 번의 기회가 있다고 한다. 하지만 나는 아직까지 그러한 기회가 언제 왔다가 지나갔는지 모르겠다. 그래서 "나는 아직도 내 삶에 있어서 최고의 순간과 기회는 단 한 번도 오지 않았다" 라고 생각한다.

다시 말해 한 인간에게 있어 최고의 순간을 말하려면 관 뚜껑을 닫을 때 말할 수 있지 않을까 생각한다. 즉 매순간 자신을 스쳐갔던 수많은 크고 작은 일들 중에서 최고의 순간은 자신의 노력과 의지에 따라 앞으로 언제든지 갱신될 수 있기 때문이다. 이것은 내 스스로 끊임없이 발전된 새로운 나로 거듭 태어날 수 있도록 내 스스로를 독려하는 삶의 주문(呪文)인지도 모르겠다.

독일의 실존주의 철학자 프리드리히 니체(Friedrich Nietzsche)는 "자신을 진정으로 사랑하기 위해서는 자신의 능력으로 무엇인가에 최선의 노력을 다해야 한다." 고 말했다. 즉 스스로의 힘으로 가까스로 도달할 수 있는 삶의 먼 목표를 정해놓고 최선을 다해 걷지 않으면 아니 되며 마음의 근육을 단련시키는 과정으로써 고통이 따른다. 이처럼 인간은 자신에게 주어진 삶의 여건에 굴복하지 않고 역경 속에서도 부단히 노력하다 보면 질적 만족도 측면에서 현실에 안주하고 있는 상태보다는 삶의 방향성과 의미부여 차원에서 비교될 수 없다고 생각한다.

Collection @ kmou

지금까지의 공직생활을 돌이켜보면 여러 훌륭하신 선배님들 그리고 동료, 후배들의 도움으로 비교적 순탄하게 생활할 수 있었던 것에 끝없이 고맙고 감사하게 생각한다. 누구나 자신의 부족함을 채워줄 수 있는 긍정의 에너지와 희망으로 가득 찬 사람과 교류를 갖는다면 자신의 꿈을 이룰 수 있을 것이다. 하지만 그런 사람을 만나는 것이 그리 쉽지 않는 것이니 어쩌면 나에게 있어 행운이었다. 더욱이 감사관실에서 서기관으로 승진한 후 부산지방해양수산청으로 전보되어 박사과정을 이수하는데 도움을 주고 늘 마음으로 나마 응원해 주신 부산청 항로표지과 직원들에게 이 자리를 빌려 감사의 인사를 드린다.

특히, 부족한 점이 있음에도 끝까지 지켜봐 주시고 아낌없는 지혜를 나누어 주며 함께한 시간이 흐를수록 그 깊이가 더해 더욱 아름답게 다가오고 항상 최선을 다해 이끌어 주신 국승기 지도교수님께 존경과 함께 깊이 감사를 드린다. 아울러, 늘 정성으로 도움을 주신 김정록 박사님과 정해상 연구원, 조미란 연구원께도 뜨겁게 고마움을 느낀다.

한번 뿐인 삶 이제는 연로하시어 날로 기력이 약해져가고 있으며 더욱 야윈 몸으로 멀리서 말없이 지켜봐주신 아버님과 어머님 그리고 내가 어떤 일에 도전하든지 간에 늘 응원해주고 든든한 버팀목이 되어준 삶의 동반자이면서 든든한 친구 같은 사랑하는 아내 배춘심, 어려운 공무원시험에 합격하여 서울시청에서 근무하고 있는 사랑스런 우리 딸 혜련, 큰 딸에 이어 공무원 시험 준비에 고생하며 우리 집 기둥처럼 듬직하고 자랑스러운 큰아들 도균, 늘 자신의 원대한 꿈과 희망을 위해 쉼 없이 도전하고 착하 디 착한 막내아들 대균에게도 한없는 사랑과 감사와 고마움의 메시지를 전하고 싶다. 다시 한 번 오늘의 큰 결실이 있기까지 도움을 주신 모든 분들에게 뜨겁고 깊은 감사의 말씀을 드린다.

2018년 6월 어느 날

이 영 태

Collection @ kmou